

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

**Практическое руководство
компании НАЛКО
по анализу
повреждения котлов**



**Практическое
руководство
компании НАЛКО
по анализу причин
повреждения котлов**

Nalco Chemical Company

Авторы:

**Роберт Д. Порт
Харви М. Херроу**

McGraw-Hill, Inc.

Порт, Роберт Д.

Практическое руководство компании НАЛКО по анализу причин повреждения котлов / Nalco Chemical Company; авторы Роберт Д. Порт, Харви М. Херроу.

ISBN 0-07-045872-3-1

1. Паровые котлы – Аварии – Руководства, справочники и пр. Херроу, Харви, Nalco Chemical Company III.Заголовок.

TJ298.P67 1991

621.1'83-dc20

90-40834

CIP

Книга посвящается д-ру Уильяму К. Бейру, организатору ее издания

Авторские права 1991 г. принадлежат издательству McGraw-Hill, Inc.

Все права сохраняются. Отпечатано в США Любая часть данной публикации не может быть воспроизведена или распространена в любом виде, а также сохранена в базе данных или в информационной системе без письменного согласия издателя, за исключением случаев, разрешенных Законом об Авторских Правах США от 1976 года.

6 7 8 9 0 K P K P 9 9 8 7

ISBN 0-07-045683-L

Издатель-спонсор данной книги Роберт У. Хаусермен, редактор Алфред Бернгард, дизайнер Наоми Ауксбах, продюсер Томас Г. Ковальчик.

Отпечатано и переплетено в Kingsport press.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена компанией McGraw-Hill, Inc., из источников, которые она полагает надежными. Однако ни одна компания, ни авторы не гарантируют точность и полноту любой информации, содержащейся в ней, и ни компания, ни авторы не должны нести ответственность за любые ошибки, упущения или ущерб, которые могут произойти в результате пользования этой информацией. Данная книга опубликована с полным признанием того, что компания McGraw-Hill, Inc. и ее авторы предоставляют информацию, но не пытаются предоставлять технические или другие виды профессиональных услуг. Если такие услуги требуются, за помощью следует обратиться к соответствующим специалистам.

Содержание

Предисловие	5
Глава 1. Отложения из воды и пара	7
Глава 2. Длительный перегрев	35
Глава 3. Кратковременный перегрев	53
Глава 4. Щелочная коррозия	63
Глава 5. Хелатная коррозия	77
Глава 6. Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период	87
Глава 7. Коррозия при низких значениях pH в процессе кислотной очистки	101
Глава 8. Кислородная коррозия	115
КОРРОЗИЯ СО СТОРОНЫ ТОПКИ	127
Глава 9. Коррозия под действием мазутной золы	129
Глава 10. Коррозия под действием каменноугольной золы	135
Глава 11. Коррозия топочных экранов и наружных стенок котла	141

Глава 12. Коррозия на холодной стороне котла во время эксплуатации	149
Глава 13. Коррозия в точке росы во время перерывов в работе	155
Глава 14. Повреждения под действием водорода	163
Глава 15. Коррозионно-усталостное растрескивание	175
Глава 16. Коррозионное растрескивание под напряжением	187
Глава 17. Эрозия	197
Глава 18. Кавитация	227
Глава 19. Дефекты изготовления	235
Глава 20. Дефекты в сварных швах	245
Глава 21. Недостаточно высокое качество материалов	261
Глава 22. Коррозия типа графитизации	267
Глава 23. Разрушение сплавов	273
Словарь терминов	279
Дополнительная литература	
Указатель образцов	289
Указатель промышленности	291
Об авторах	293

Предисловие

Данная книга служит всесторонним, авторитетным руководством по повреждению котлов. Содержащаяся в ней информация собрана в результате проводившегося на фирме *Nalco Chemical Company* в течение сорока лет анализа неисправностей, включающего свыше 10 000 примеров из практики. Представлены неисправности в котлах практически для всех давлений и конструкций и проведено обсуждение неполадок почти во всех зонах котла, а также в некоторых зонах, располагающихся до и после котлов. Текст иллюстрируется большим числом фотографий повреждений, имевших место на практике.

Критический подход при проведении непредвзятого наблюдения, подкрепленный опытом и здравым смыслом, служит наиболее важным фактором для обеспечения точной идентификации повреждений в котлах. Однако, эта книга не может заменить хорошо обученного и опытного аналитика. Анализ неисправностей — навык, который приобретается опытом. Книга поможет и новичку, и более опытному специалисту быстро и просто определить наиболее возможные причины дефектов. Путем прямого сравнения со многими рисунками и фотографиями реальных повреждений читатель научится определять многие проблемы и точно находить место возможных повреждений. Объяснять дефекты станет легче, упростится интерпретация и обсуждение данных отчетов по анализу неисправностей.

Книга не предназначена для того, чтобы служить заменой тщательному анализу повреждений. Скорее всего, информация, содержащаяся в ней, должна послужить вспомогательным средством при расследованиях, проводимых на предприятии, и в качестве легкодоступного справочного пособия в данной области. Хотя опытный специалист может выявить и правильно диагностировать многие повреждения лишь на основе визуального осмотра, последний не всегда может заменить лабораторное исследование.

В книге обсуждаются темы перегрева, химической коррозии как со стороны топлива, так и со стороны воды, а также растрескивания, образования накипи, эрозии и дефектов, допущенных при изготовлении. Основные режимы и процессы, способствующие образованию дефектов, и различные вопросы, связанные с повреждениями, рассматриваются в семи указанных ниже разделах.

Местоположение.

Указано точное местонахождение повреждений.

Общее описание.

Рассмотрены механизмы повреждений. Проведено обсуждение причин и источников агрессивного воздействия.

Важнейшие факторы. Перечислены наиболее важные или решающие факторы, вызывающие повреждения. Особо выделены морфология и характер агрессивного воздействия.

Выявление повреждений. Рассмотрены процедуры визуального осмотра. Проведено обсуждение методов, с помощью которых специальные металлографические процедуры смогут прояснить механизмы повреждений.

Устранение. Приведено перечисление и пояснение необходимых профилактических и/или корректирующих мер для устранения или уменьшения серьезности повреждений.

Меры предосторожности. Проведено сравнение различных механизмов, которые приводят к возникновению повреждений со схожими внешними признаками.

Сопутствующие проблемы. Приведено описание сопутствующих проблем и повреждений.

В каждой из глав приведены примеры частных случаев из практики, имевших место в прошлом. Примеры отобраны таким образом, чтобы проиллюстрировать как сходство, так и различия между реальными и «классическими» повреждениями, и показывают различные возможности реального возникновения аварийных ситуаций.

Фирма *Nalco Chemical Company* занята подготовкой нового справочного пособия по анализу причин выхода из строя системы водяного охлаждения такого же формата, как и настоящая книга. Эта вторая книга должна появиться в 1991 г.

Выражение благодарности

Авторы выражают благодарность фирме *Nalco Chemical Company* за великодушную поддержку в период работы над книгой. Особую признательность авторы выражают коллеге *Джеймсу Дж. Диллону* в связи с его вкладом в отбор фотографий и частных случаев из практики. Особой благодарности заслуживает также *Майкл Дж. Дэнко*, предоставивший несколько фотографий. Самую сердечную благодарность авторы выражают *Теду К. Ньюмену*, нашему наставнику. Искренняя признательность *Дэвиду Л. Питтину* в связи с его помощью в самом начале работы над данным проектом, а также *Дональду Г. Уилтси* за его превосходную проверку рукописи и *Валери Дж. Вуйтх* за неоценимую помощь в подготовке рукописи. Выразим также благодарность *Памеле Дж. Энтрикки* за окончательное редактирование рукописи, ее руководство в подготовке дизайна обложки, а также за ее помощь в координировании производства книги с компанией *McGraw-Hill*.

Отложения из воды и пара

Места скопления отложений

Накипь может появиться в любом месте котловой системы, где присутствуют вода или пар. Хотя боковые экранные трубы обычно портятся больше всего, в трубах свода и пода толки также часто происходит накопление отложений. Пароперегреватели и промежуточные подогреватели часто содержат отложения, которые образуются за их пределами и поступают в систему с котловой водой. Парообразование в экономайзерах происходит редко. Отложения на их трубах, обычно, состоят из продуктов коррозии, перенесенных из мест их первоначального образования.

Образование отложений может оказаться значительным в процессе генерирования пара. Место образования отложений и их количество могут в значительной степени зависеть от ориентации труб. Отложения обычно наиболее велики на горячей стороне труб системы парообразования. Из-за прохождения пара по определенным каналам скопление отложений может происходить в наибольшей степени в верхних частях горизонтальных и наклонных труб. Кроме того, отложения часто образуются непосредственно после подкладки под окружной сварной шов трубопровода, которая является препятствием для потока и благоприятным местом для образования паровой пленки. Поскольку, отложения имеют тенденцию сосредотачиваться в самых горячих местах труб парогенератора, трубы, расположенные вблизи низа задней стенки котлов с цепной колосниковой решеткой, а также боковые экранные трубы особенно часто накапливают отложения. Последние, состоящие из крупных частиц, образуются на горизонтальных участках и в тех местах, где скорость потоков невелика.

Конструкция экономайзеров в основном рассчитана на их работу без образования пара. Отложения, причиной образования которых служит во-

да, обычно поступают в экономайзер из таких источников, как возвратный конденсат (обычно не подвергаемый дополнительной очистке). Оксиды, образующиеся до экономайзера или внутри него в результате повышенного содержания кислорода, могут быть перенесены и откладываться в экономайзере.

Грязесборники и паровые коллекторы часто содержат отложения. Поскольку эти места легко доступны, их визуальный осмотр может многое сказать о химическом составе воды и процессах образования в ней отложений. Например, блестящие черные кристаллы магнетита могут отлагаться в паровых коллекторах, где при разложении органических комплексных соединений происходит выделение железа.

Отложения в пароперегревателях образуются в результате уноса котловой воды, иногда связанного с пенообразованием или высоким уровнем воды в котле. Эти отложения обычно концентрируются вблизи ввода в пароперегреватель или рядом с подвесными U-образными коленами. Загрязненная вода, вводимая для охлаждения пара, также может вызывать образование отложений непосредственно за точкой ее ввода. Чешуйки накипи и частицы отслоенных оксидов могут, пройдя через пароперегреватель, накапливаться в U-образных коленах, или — что гораздо более серьезно — достигать паровых турбин.

Общие сведения

Отложениями называются те вещества, которые образуются где-либо прежде и переносятся к месту их накопления. К отложениям нельзя отнести продукты коррозии, образующиеся здесь же, хотя к ним вполне можно отнести продукты коррозии, которые образуются прежде и затем отлагаются в данном месте. Оксиды, образующиеся за счет окисления металла котла, нельзя считать отложениями, если они не были перенесены с места своего образования. Это различие является фундаментальным.

Котловые отложения образуются из четырех источников: находящихся в воде минеральных веществ, химических реагентов для водообработки, продуктов коррозии, протекающей до котла и в самом котле и загрязнений. Отложения из разных источников могут взаимодействовать между собой, что увеличивает скорость накопления отложений или образования более прочного слоя, а также способствует образованию зародышей кристаллов. Указанные выше вещества могут быть оксидами металлов, медью, фосфатами, карбонатами, силикатами, сульфатами и просто загрязнениями, а также многими другими органическими и неорганическими соединениями.

Один из процессов образования отложений состоит в концентрировании растворимых и нерастворимых веществ в тонкой пленке, граничащей с поверхностью металла, в ходе образования пузырьков пара (Рис. 1.1). Вещество накапливается на границе раздела пар — вода, перемещается вдоль этой границы и отлагается у основания пузырьков по мере их роста. Другой механизм основан на выделении из раствора и осаждении крупных частиц. Растворение, обратно пропорциональное температуре, приводит к образованию отложений в тех местах, где велика теплопередача.



Рис. 1.3 Процесс превращения жидкой фазы в пар в котлах с водой

Образование пара в котловом пространстве происходит неистощно. Отложения здесь обычно богаты железом. Оксиды железа образуются в системе при температуре подотрева котла или в самом котловом пространстве (Рис. 1.4 и 1.5).

Тепловые напряжения способствуют отслаиванию оксидов. Расслаивание оксидов, образующихся в промежуточных и по то реляциях, за счет

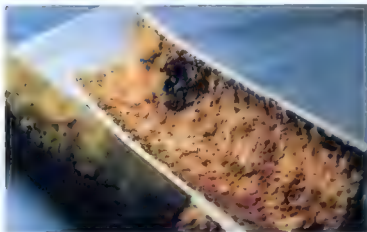


Рис. 1.4 Толстый слой крупого оксида железа в трубе котельного агрегата. Оксидная часть железиста, нижняя часть железиста, система предварительного подотрева

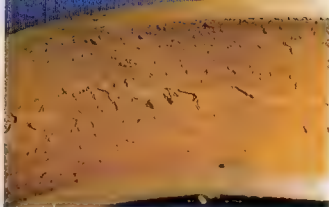


Рис. 15 — Изображение фрагмента древнего документа, содержащего текст на старославянском языке. Видны характерные для пергамента пятна и следы повреждений.



Рис. 16 — Изображение фрагмента древнего документа, содержащего текст на старославянском языке. Видны характерные для пергамента пятна и следы повреждений.



Рис. 1.7 Мелкие части сетки фильтра на входе и турбинах. Коррозия отложения окислов и груб пара претравителя застрял в отверстиях сетки (увеличение в 7,5 раз)

тепла, могут вызывать накопление чешуек окислов в образцах колонных и на горизонтальных трубопроводах большой длины (Рис. 1.6 и 1.7). Температура образования накипи (выше которой образуются окислов) происходит очень быстро, для различных сплавов приведены в таблице 2. Могут также накапливаться отложения из воды, попадающей сюда за счет

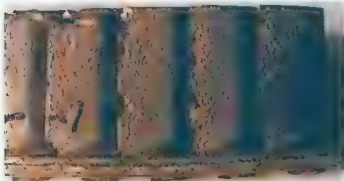


Рис. 1.8 Турбина турбин в конденсаторе, отложения окислов и накипи на поверхности. Отложения окислов и накипи в конденсаторе турбин

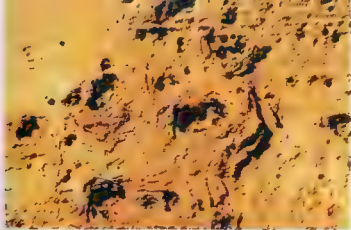


Рис. 1.9 Остатки выщелоченных примесей из осадочной породы. Увеличение в 75 раз

переброса при палеообразовании захлебывания или водной промывке. Вещества, растворимые в воде, могут проходить через паронепроницаемые осадочные породы. Если в воде присутствуют хлориды и сульфиды, их миграция может стать причиной серной коррозии, вызванной гидролизом (Рис. 1.8 и 1.9).

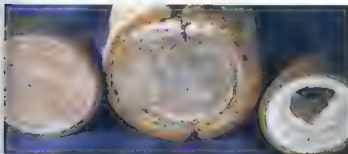


Рис. 1.10 Сечения труб фонтанной скважины от обводнения. Труба слева — чистая, без коррозии, отложения на внутренней поверхности — чистый карбонат кальция. Труба в центре содержит силикат, фосфат и сульфид кальция. Труба справа — ржавая, с отложениями карбоната кальция. Труба справа — ржавая, с отложениями карбоната кальция. Труба справа — ржавая, с отложениями карбоната кальция.

Важнейшие условия для накопления отложений

Скорость, с которой отложения образуются на теплопередающих поверхностях, зависит в основном от растворимости и физической цепкости отложений, а также от степени промывки отложений водой в тех местах, в которых образуется пар. Растворимость, цепкость отложения и промывка водой, в свою очередь, зависят от других факторов, в частности от концент-

Таблица 1.1 Теплопроводность (ε) сплавов и отложений

	Теплопроводность	
	Вт/м·°С	(БТЕ/фут·ч·фут °Ф)
<i>Сплавы</i>		
Нержавеющая сталь 304	22(500°C), 16(1000°C)	12,5(932°F), 9,4(212°F)
Нержавеющая сталь 4.0	28(400°C), 25(1000°C)	16,1(752°F), 14,4(212°F)
Легированная сталь (углерода 0,34%, марганца 0,5%, хрома 0,78%, никеля 3,53%, молибдена 0,39%, меди 0,05%)	36*	2*
Медь	420*	24*
Углеродистая сталь (углерода 0,23%, марганца 0,64%)	55*	32*
Алюминий	235*	136*
<i>Отложения</i>		
Оксид алюминия гидратный ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$)	3,60	2,1
Анальцит ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$)	0,19	0,16
Карбонат кальция ($CaCO_3$)	0,14	0,56
Фосфат кальция [$Ca_3(PO_4)_2$]	0,55	2,20
Сульфат кальция ($CaSO_4$)	0,21	0,83
Оксид железа (Fe_2O_3)	0,09	0,35
Оксид магния (MgO)	0,17	0,69
Фосфат магния [$Mg_3(PO_4)_2$]	0,13	1,30
Магнетит (Fe_3O_4)	0,45	1,8
Пористые вещества	0,01	0,06
Кварц (SiO_2)	0,24	0,97
Серпентин ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)	0,16	0,63

* Комнатная температура

Примечание: $(\text{БТЕ} \cdot \text{фут}^3 / \text{ч} \cdot \text{фут}^2 \cdot ^\circ\text{Ф}) = 1,73 \text{ Вт} \cdot \text{м}^3 / \text{с} \cdot ^\circ\text{С}$

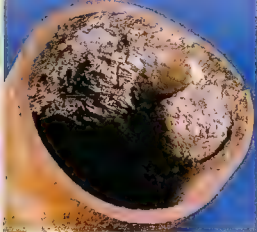


Рис. 1.11 Образующие гидроксидом натрия отложения из боковых жаровых труб со стороны толстой котла под давлением 900 фунт/кв. дюйм (4, 3 МПа). Можно видеть воздушные образования в результате дегазации его перегрева

рации растворенных веществ, температуры образования, структуры скопления и турбулентности воды. Однако первостепенным условием для накопления значительных отложений обычно служит образование пара. Фактически отложения могут накапливаться даже в тех случаях, когда парообразование лавелидо (Рис 1.10). Если же происходит пузырьковое кипение, теплопередача определяется теплопроводностью стенки труб и отложения, а также температурой на стороне пара. Значения теплопроводности для отложений и сплавов различного вида приведены в таблице 1.1.

Сочетая обратную зависимость растворимости от температуры легко образуют отложения на теплопередающих поверхностях. Например, сульфат и фосфат кальция осаждаются откладываются преимущественно в горячих зонах, когда увеличивается температура. Вероятнее всего здесь возникает пленочное кипение, и последующее выпаривание отложения досуха приводит к увеличению концентрации веществ, растворяющихся при нормальной температуре (Рис 1.11). Часто отложения наименее растворимых веществ обнаруживаются в охлаждаемых водой трубах, имеющих самую высокую способность к теплопередаче, например в боковых экранных трубах. В тех местах, где происходит выпаривание досуха, обычно обнаружи-

Таблица 1.2

Рекомендуемое качество питьевой воды

Содержание (до 100%)	Интенсивность окисления железа (Фг/кг/ч)	Общая жесткость	Максимум, (г/мл)		
			Кислород	Железо*	Медь*
10%	15-25	75.00	—	—	—
20%	10-20	20.00	—	—	—
30%	7.5-5	2.00	—	—	—
50%	2.5-5.0	2.00	0.030	—	—
60%	1.4-2.5	0.20	0.030	—	—
75%	1.4-2.5	0.10	0.030	0.050	0.020
90%	0.8-1.5	0.05	0.007	0.020	0.015
100%	1.7-0.3	0.05	0.007	0.020	0.015
500	0.3 макс.	0.00	0.005	0.010	0.010
7000	0.1 макс.	0.00	0.005	0.010	0.010
2500	0.05 макс.	0.00	0.003	0.003	0.002
3200+	0.02 макс.	0.00	0.002	0.002	0.002

* В современных промышленных котлах с чрезвычайно высокой теплопередачей эти концентраты должны быть по существу извлечены. Анализ также, однако, показывает, что фактически извлечение ФЭ может составлять лишь небольшую долю от общего, а эквивалентный теоретический расход в питательном воде по теплоемкости не так мало будет, сколько.

Н. Юрков, «*физическая химия «Physical Chemistry: The Chemistry of Free Energy of the Gas Phase»*», 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 267

Ученые-исследователи: 1 доктор наук, профессор, 8 006 895 МП.а.

ВЫПУСК 01 ПОДВЕРЖАЮТСЯ И РЕШЕНИЮ С ДИСТАНЦИОННЫМ ЭТ ПОЖЕЛОВА

Даже относительно низкие температуры могут вызвать значительный рост температуры стекла. По мере повышения температуры стекла усиливается тенденция к образованию паровых пузырей (рис. 13), которая препятствует движению теплового потока, вызывая перегрев и разрыв металла (см. Главу 3 «Длительный перегрев»).

Качество воды также оказывает значительное влияние на процесс образования отложений. В таблице 2 приведены рекомендуемые показатели качества воды как функции давления в котле. В таблице показано, что чем выше давление в котле, тем меньше загрязнений в нем допустимо. Избыточные воздействия от ожогов и растрескивания металла становятся все менее допустимыми, поскольку при этом переувлажнение становится более вероятным. Максимально допустимые концентрации солей в котловой воде приведены в таблице 1. Рекомендуемое 100-кратное уменьшение солей жесткости растворимых твердых веществ с 10 выделением давления с 100 фунт/кв дюйм (0,67 МПа) до 2000 фунт/кв дюйм (1,38 МПа). При этом допустимые уровни солей кальция и диоксида кремния уменьшаются в 50 раз, выделенных частиц в 500 раз.

Практическое правило, касающееся толщины труб, гласит, что котлы высокого давления (выше 1800 фунт на кв. дюйм = 2,4 МПа) изготавливаются

Таблица 1.3 Рекомендуемые концентрации солей в котловой воде

Допустимая температура воды, °С	Максимальные значения, мг/л, г/м³					
	Температура воды, °С	Растворимость солей	Известковые соли	Общая жесткость	Кремниевая кислота	Примечания
Допустимая концентрация солей, мг/л	Температура воды, °С	Растворимость солей	Известковые соли	Общая жесткость	Кремниевая кислота	Примечания
100	328	50000	500	4000	45000	50
200	385	45000	350	8000	20000	50
300	475	35000	300	7000	17500	60
500	467	10000	60	6000	4000	70
600	480	7500	30	5000	3500	75
750	513	2000	40	3000	3000	NR
900	535	1000	30	2000	2500	NR
1000	545	500	0	1000	1000	NR
1500	560	500	3	0	100	NR
2000	620	500	0	0	100	NR
5000	660	100	0	0	0	NR
32000	705	400	0	0	0	NR

* Рекомендуемые значения давления от 100 до 400 фунтов на кв. дюйм (6,89 до 27,6 MPa) применяются к любым двигателям на месте работы со средними величинами температур на входе 50-600 КЕЛВИН (120-1100 °F). При высоких значениях, характерных для тепловых двигателей, больших котлов, больших количествах циркуляционной жидкости не было эффективно указать, чтобы избежать обычных проблем с коррозией. При низких значениях жесткости в котле не должно быть накипи. В любом случае необходимо соблюдать следующие значения, указанные в морфологии или других условиях.

ИСТОЧНИК: *Система Работы с Паром: Как это Работает. Третье издание. Издание 1997 года. Издатель: McGraw-Hill.*

Таблица 1.4 Чистота котельных труб

Тип котла	Отложения (мг/кв.см)		
	Чистый	Среднегрязный	Грязный
Котлы сверхкритического давления Котлы подкритического давления (2,42 МПа и выше)	< 5	15-25	> 25
	< 5	15-40	> 40

ИСТОЧНИК: K. L. Atwood and G. L. Hale, A Method for Determining Need for Chemical Cleaning of High-Pressure Boilers («Метод определения необходимости химической очистки котлов высокого давления»), American Power Conference, Chicago, Illinois, April 20-22, 1971

Естественно чистыми, если в охлаждаемых водой трубах содержится отложение менее 15 мг/см² (около 14 г/кв. фут). Это количество отложений типично практически для любых чистых котлов независимо от химической обработки воды, типа котла или топлива. Для некоторых котлов слой пористого магнетита до 11 мг/см² (10 г/кв. фут), не приводит к существенному ухудшению теплопередачи. Котельные трубы со средним загрязнением содержат от 15 до 40 мг/см² (от 14 до 37 г/кв. фут) отложений, а котельные трубы содержащие более 40 мг/см² (37 г/кв. фут) считаются очень загрязненными. Рекомендуемые значения для котлов высокого давления приведены в таблице 1.4. Теплопередача резко падает когда диаметр отложения становится чрезмерной. Одна крупная компания рекомендует очистку котлов низкого давления производить при отложениях 32 мг/см² (30 г/кв. фут). Продолжительная работа при массе отложений превышающей максимально допустимую, может привести к серьезной коррозии авариям, вызванным перегревом. Однако



Рис. 1.12. Массовая коррозия в крайней трубе из водогрейного котла высокого давления



Рис. 1.13 Гладкий, темный, черный слой магнетита на хорошо зашпательной котельной трубе

одна лишь масса отложений не всегда точно указывает на тенденции к перегреву. На теплопередачу оказывают воздействие также и состав, и структура отложений.

Идентификация соединений, присутствующих в отложениях

На состав отложений оказывают влияние химические реагенты для обработки котлов: состав питательной воды и парового тепла. При давлениях 2500 фунтов на дюйм (7,2 МПа) и выше обычно используют гидралик. Обессоливание питательной воды и толкая очистка конденсата служат дополнительными широко применяемыми на практике мерами водоочистки. Это означает вероятность содержания в отложениях только оксидов железа, образующихся при коррозии вытесненных поверхностей, а также присутствие в них меди, никеля и других металлов и сплавов.

Химические реагенты, применяемые для водоочистки, или продукты их реакции обычно не обнаруживаются. При более низком давлении могут быть обнаружены и другие вещества. Главные соединения наиболее вероятные места скопления отложений и их характеристики приводятся в таблице 1.5.

Оксиды железа

Гладкий, черный, цепкий, плотный слой магнетита обычно нарастает на стальных стенках в восстановительной среде на поверхностях котла со стороны воды (Рис. 1.13). Магнетит образуется путем прямой реакции воды с металлом труб. В котлах высокого давления магнетит состоит из двух слоев, которые обычно видны только при исследовании под микроскопом. Отложение

Таблица 1.5 Компоненты отложений из воды

Минерал	Формула	Характер отложения	Обычное место размещения
Азмит	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	Твердое, вязкое	Накаты на трубах под давлением над уровнем моря
Альфа кварц	SiO_2	Твердое, агрессивное	Попалки турбин, трещины, коррозия труб
Амфиб	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Липкое, вязкое	Накаты в трубах и слэмах
Андалазит	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Твердое, агрессивное	Накаты на трубах под давлением, промывка, отстой или серповидном
Анхизит	CaSO_4	Твердое, агрессивное	Накаты на трубах, трубы, арматура, котлы
Аргонит	CaCO_3	Твердое, агрессивное	Накаты в трубах, теплообменники, котлы
Брусчат	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Твердое, агрессивное	Шлам в рассекорных, перемешивающих аппаратах
Медь	Cu	Электросодепозит, липкое	Котлы, трубы, теплообменники
Куприт	Cu_2O	Липкое, агрессивное	Накаты на трубах, теплообменники
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Твердое, агрессивное	Попалки турбин, отложения в котлах
Гидратит	Fe_2O_3	Самородное	По всему котлу
Гидрокарбонат	$\text{Ca}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$	Флокулянт	Гидрокарбонат, липкое, агрессивное
Фосфат магния	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	Липкое, агрессивное	Трубы, теплообменники, котлы
Магнит	Fe_2O_3	Закрепленный	Весь теплообменник, котлы
Нозерит	$2\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{BO}_3$	Твердое, агрессивное	Накаты в трубах
Петролит	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Флокулянт	Накаты в трубах
Серпентин	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Флокулянт	Шлам
Содатит	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3$	Твердое, агрессивное	Накаты в трубах
Косовит	$3\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Твердое, агрессивное	Накаты в трубах

ИСТОЧНИК

С. Грейвс, Chemical Publishing Company, *The Chemical Treatment of Boiler Waters*, James W. McCoy, New York, 1962



Рис. 1.14 Пятна отложения белого оклада железа, соответствующие местам расположения шпильки стальной трубы котла-утилизатора. Давление конденрирует тепловыделяют повышение скорости образования пара и, как следствие, на конденсатных отложениях. Следующий этап белое отложения гидроксида натрия, расположенные по поверхности котла в 1980-е годы, образовались в результате



Рис. 1.15 Вследствие черных кристаллы магнетита на внутренней поверхности жаровой трубы кристаллы образуются путем осаждения из твердого на жидкое переноса с токами пара



Рис. 1.16. Поверхность окисленного металла, покрытая тонким слоем гематита и толстым слоем магнетита. В центре видна граница между двумя окислами железа.

Частицы оксида железа может переходить поверх гадюкого слоя магнетита, образуя окислы в условиях высоких температур, если скорость осаждения высока и/или вымывание не так разнообразно (Рис. 1.14). Обычно состоит из грубых частиц магнетита не имеет твердой поверхности, если он не перемещается друг к другу, образуя кристаллы. В состоянии черной коррозии и в некоторых случаях магнетит часто присутствует в виде участков, свободных от коррозии. Подобные кристаллы магнетита иногда образуются от осаждения поверхности, например в паровых коллекторах и трубах (Рис. 1.15 и 1.16). Если соскребать некоторое количество этого вещества с поверхности и подвергнуть воздействию магнита, то можно обнаружить присутствие в нем железа.

С другой стороны, образование гематита наблюдается только на несколько более низких температурах и более высокие концентрации кислорода. Гематит обладает связующими свойствами и имеет тенденцию к агломерации и удерживать в себе окисленные другие вещества. Гематит может быть красного цвета, если он образовался в среде концентрации кислорода высокая. Он обычно присутствует в экономизерах, где происходит окислительная коррозия (Рис. 1.15).

Прочие металлы и их оксиды

Медь окисляется либо при прямом обмене с железом, либо при восстановлении из оксида меди водородом, образуя окислы. Обычно можно видеть крупные красноватые пятна элементарной меди, промежуточными смесями таких продуктов коррозии, как магнетит и гематит.



Рис. 1.17 Отложение кариозної пульпи (см. Рис. 1.16)

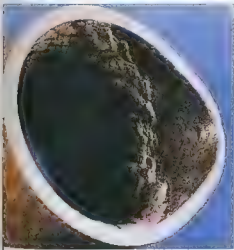


Рис. 1.18 Аміаларит-образована внаслідок утрати адгезивності з дентиною. Можливо відомо, наскільки це відображається в клінічній практиці

нием солевой кислоты. Разложение неферментативной кислоты и других органических загрязнителей также будет создавать кислотную среду.

Морфология отложений

В предыдущей части главы были в основном рассмотрены вопросы идентификации отложений, основанной только на их визуальном и химическом природе каждого типа. Однако реальные отложения в основном содержат бо́льшие количества смешанных соединений. Морфология отложений может определять их характер существующих в слое, а также давать ключ к разгадке условий, создающих условия напы и механизмов коррозии, в которых эти отложения формируются.

Особенно интересно, чтобы отложение устойчивое к промывке. В частности, большой вред наносит нерастворимое гелеобразное отложение, состоящее из кристаллических. Оно способствует конденсированию в своих порах растворимых соединений. Поэтому в местах пористыми нерастворимыми отложениями можно обнаружить и гидрокарбонаты. Первые виды отложений часто предшествуют конденсированию веществ с более высокой растворимостью.

Говоря вообще, чем сильнее отложение, тем оно тверже и более прочно сцеплено со стенками труб. По мере старения отложения происходит уплотнение, вследствие чего в нем происходит твердение, что приводит к увеличению его массы, плотности и твердости. Из данного правила есть исключения, и эти исключения, без сомнения, необходимо учитывать. Тем не менее, приехисте твердых и прочных отложений, как это указывает на то, что они образуются в течение длительного времени при высоких температурах металла.

Сложность отложения указывает на изменение в химическом составе воды, то есть гелеобразные. При тщательном осмотре и анализе с помощью тапипа часто можно обнаружить отложения, образованные при различных программах водоподготовки. Историко-хронологическое накопление отложений можно определить по тому порядку, в котором развивался его формирование.

Предупреждение образования отложений

Нежелательны любые отложения в котельном котле их образование тесно связано с химическими свойствами воды и с практической эксплуатацией котла. Правильное понимание процесса водоподготовки позволит уменьшить образование отложений. Общие правила обработки воды известны. Нарушения в составе воды и изменения в режиме эксплуатации должны быть сведены к минимуму.

Образование отложений можно избежать, работая при должном давлении, температуре и скорости, а также обеспечить правильное функционирование всех компонентов котла. Наиболее важным эксплуатационным характеристиками котельной системы являются на образование отложений, связанная с тем, что котел обогреть. Чтобы избежать образования отложений,

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.1

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Труба экономайзера котла утилизатора вблизи верхнего коллектора
Ориентация образца:	Искривление (с горизонтального на вертикальное J-образно)
Срок службы, годы:	10
Программа водоочистки:	Хелатная
Давление в барабане:	600 фунт./кв. дюйм (4.13 МПа) давление питательной воды 820 фунт./кв. дюйм (5.65 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)
Средство обогрева:	Черный щелок

При выемке поврежденных труб экономайзера в них неожиданно были обнаружены молдыые внутренние отложения. Внутренние поверхности некоторых труб экономайзера были частично покрыты нераств. слоем мягкого чешуйчатого оксида железа. Нераств. оксиды были черного цвета. Рыхлае зернистое вещество, 1 дюйм (25 мм) скопавшееся в колене трубы, показано на Рис. 1-19. Более тщательное обследование показало, что накопленный слой вещества состоит из частиц алгариалита и шифров смолы (Рис. 1-20). Отложение было образовано в результате переноса смолы из разрушенного слоя. Металлическая поверхность под отложением имела впадины и утончения.

Накопленное отложение задерживало охлаждающий поток охлаждающего, что до перегрева дало не доходило, поскольку температура дымовых газов была слишком низкой (около 551°F или 288°C). И все-таки, включение в режим пузырькового кипения под отложением имело место, что привело к концу тренового оксид-оксид натрия связанной с ним коррозии (см. Главу 4 «Химическая коррозия»).



Рис. 1-19 Частичка алгариалита и шифров смолы под расслабленным отложением оксидов железа

используемые для создания областей в перерывах между сменами обслуживания агрегата при простоях и в т.д. Кроме того, амальгамная отложка может добиваться желаемого результата при меньших затратах, чем при использовании химических методов.

Меры предосторожности

Отложения раскисления могут возникнуть по следующим причинам. Для отложения раскисления в любой рабочей области амальгамная отложка может быть нанесена химическим методом. Растворимые в воде соединения могут вызвать вымывание амальгамной отложки и, следовательно, раскисление. Промывка агрегата водой на время отключения оборудования, в течение которой отложка может быть нанесена во время работы котла. Однако бывает достаточно предложить, что котлы, работающие хорошо растворимых отложениях при лабораторном анализе, являются загрязненными. При наличии проблем хорошо растворимых веществ, обычно добавляют с небольшим количеством отложения от режима тушения котла.

Количество составных частей отложения, которые могут быть нанесены в любой момент времени. Изменяющиеся количества могут возникнуть отложения, расположенные рядом с разрушенным участком. Но даже на внутреннюю и внешнюю поверхности разрыва могут проникать продукты старения со стороны наружной стенки котла. Обычно они являются также результатом раскисления, которое может возникнуть в результате разрыва поваров или в результате взаимодействия с жидкостями в жаропрочных металлах.

Защитные меры могут быть приняты, чтобы избежать коррозии. Это касается пароперегревателей и подвергаемых воздействию кислородной коррозии в зольно-песчаной среде. При этом коррозионно-активные вещества могут быть устранены из зольно-песчаной среды. При этом коррозионно-активные вещества могут быть устранены из зольно-песчаной среды. При этом коррозионно-активные вещества могут быть устранены из зольно-песчаной среды.

Сопутствующие проблемы

См. также Главу 2 («Длительная перегрузка»), Главу 3 («Кратковременная перегрузка»), Главу 4 («Дефектная коррозия»), Главу 6 («Коррозия при низком уровне pH во время эксплуатации») и Главу 7 («Коррозия при низком уровне pH при остановке эксплуатации»). Главу 8 («Кислородная коррозия»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.1

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Труба экономайзера котла-утилизатора вблизи верхнего коллектора
Ориентация образца:	Искривление с горизонтального на вертикальное J-образно)
Срок службы, годы:	10
Программа водоочистки:	Хелатная
Давление в барабане:	600 фунт кв. дюйм (4,13 МПа); давление питательной воды 820 фунт/кв. дюйм (5,65 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)
Средство обогрева:	Черный щенок

При выемке поврежденных труб экономайзера в них неожиданно был обнаружен мощный внутренний отложения. Внутренние поверхности некоторых труб экономайзера были частично покрыты неровным слоем мягкого чешуйчатого оксида железа. Нижележащие оксиды были черного цвета. Рыхлое вещество толщиной 1 дюйм (25 мм) скопилось в колене трубы, показано на Рис. 1.19. Более тщательное обследование показало, что нижележащий слой вещества состоит из частиц антицита и шариков смолы (Рис. 1.20). Отложение было образовано в результате переноса смолы из разрушенного слоя. Металлическая поверхность под отложением имела впадины и утолщения.

Навстречное течение не задерживало охлаждающий поток охлаждающей воды до перетекания доходящего посылочку температур, дымовых газов была с температурой около 555°F или 288°C). И все-таки отложение в режиме турбулентного течения под отложением явилось место, что привело к концу трибунацию гидроксидов и привела связанной с ним коррозии (см. Главы 4 «Кислотная коррозия»).



Рис. 1.19 Частичное увеличение в смеси смолы под рыхлым оксидом железа



Рис. 1.20 Атрибут 1 — арка
многоугольник 7,5 рунд

Газовые отложения обычно вызывают растрескивание труб. Вместо этого в результате коррозии в верхних поверхностях и в местах разрыва труб образовались отверстия. В результате коррозии в верхних поверхностях и в местах разрыва труб образовались отверстия. В результате коррозии в верхних поверхностях и в местах разрыва труб образовались отверстия.

Результатом коррозии в местах разрыва труб образовались отверстия. В результате коррозии в верхних поверхностях и в местах разрыва труб образовались отверстия. В результате коррозии в верхних поверхностях и в местах разрыва труб образовались отверстия.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.2

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Выход из пароперегревателя
Ориентация образца:	Вертикальная (обтекание вниз)
Срок службы, годы:	3,5
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	900 фунт/кв. дюйм (6,21 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 дюйма (51 мм) заглушенный конец, низколегированная сталь (C ₅₀ - 1,5%)
Топливо:	Каменный уголь

Секция трубы пароперегревателя оборудована и заглушенным концом длиной 2 фута (61 см). Была обнаружена коррозия отложений, которая была обнаружена в результате коррозии. Секция стержня пароперегревателя в течение 3 суток для сушки отложений. После сушки белое отложение можно было увидеть на заглушенном конце трубы. В самой нижней точке трубы (Рис. 1.21).

Трубы содержатся около 2 футов (60 см) отложения на каждом двух дюймах (5 см) своей длины. В противном случае и обрубке по 1/2 дюйма (12,5 мм) трубы отложения содержат около 50 вес. % магнетита а также 7 % гидроксида карбоната натрия. Биты обнаружены также небольшие количества серы, хлора, фосфора, хрома и марганца. С стороны обрубка отложения почти наполовину состояли из гидроксида и карбоната натрия.

Прямой отложения стали хромированные заготовки не охлажденной воды и иллы, которые находятся в верхней части парогерметической трубы, которые Вода, которая находится в остатках твердых осадков, которые накапливаются в течение значительного времени в застойных зонах с низким скоростями потоков, подобно обрубке концу трубы.

Различия в цвете отложений на обрубке нам концы и в прямой части указывает на отслаивание скопления растворимого щелочного вещества в самой нижней части трубы. Оно вызвано просачиванием воды, которая растворенным количеством в обрубке, который является. Тот факт, что после сушки белое вещество становится коричневым, подтверждает этот вывод.

Отсутствие каких-либо обрубков на концы труб, очень рудная работа. Тем не менее, менее, чем на 1/2 дюйма с каждой стороны необходим для предотвращения точечной коррозии и перегрева.

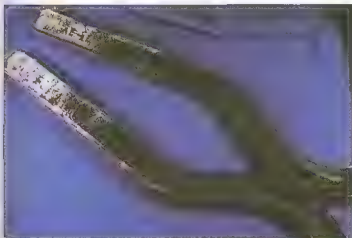


Рис. 1-21. Трубы, сильно заросшие отложениями, выходя из трубы и в нее, вступают в трубы и биты отложения. Биты отложения — карбонаты натрия, гидрокарбонаты натрия, гидроксида натрия. Биты отложения — карбонаты натрия, гидрокарбонаты натрия, гидроксида натрия. Биты отложения — карбонаты натрия, гидрокарбонаты натрия, гидроксида натрия. Биты отложения — карбонаты натрия, гидрокарбонаты натрия, гидроксида натрия.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.3

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Переходная труба
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	20
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	800 фунт/кв. дюйм (5.52 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2.5 дюйма (64 мм)
Средство обогрева:	Черный щепок и мазут

Переходная труба содержала небольшое воздушное пространство. Бетонный слой отложения с плотностью 16 фунт./фут (17 мг/кв. см.) находится на внутренней поверхности от торцевой стороны, с другой стороны плотность составляет 16 фунт./фут. Отложения были отсечены с обеих сторон четкими границами (Рис. 1.22). Эти грани не показывали пределы паровой подушки. Отложение было связано с кратковременным переходом на воду со стороны большого количества пара со стороны толщ, который привел к перегреву и разрушению.

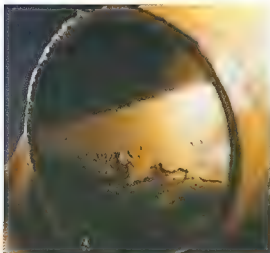


Рис. 1.22 Слой отложения на внутренней поверхности торцевой стороны переходной трубы. Некоторое количество отложений отсечено чёткой линией неглубокого впадения. Следует отметить четкие линии отбора материала со стороны толщ.

Отложения состоят из основной массы фосфата кальция (гидроксипатиты), оксидов натрия и алюминия, магнезии, силиката магния и небольших количеств других соединений. Некоторое количество алюминия было унесено из отстойника. Прочность сжигания топлива и очистка воды была проверена в соответствующем образце извлечения.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.4

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Первичный пароперегреватель подвальной U-образный изгиб
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	11
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабанах:	1250 фунт/кв. дюйм (8.62 Мпа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 1,75 дюйма (44.5 мм), Cr 2.25%, Mo 1%
Топливо:	щепа и каменный уголь

Полностью U-образная секция пароперегревателя была демонтирована из-за разрушения с одной стороны толкун в результате разбегания шлаком. При исследовании внутренней поверхности был обнаружен массивный пузырьчатый слой магнетита (Рис. 1.23). Протянутое разрушение данного слоя, которое могло привести к выходу трубы, однако еще не была обнаружена.



Рис. 1.23 Пузырьчатая поверхность внутренней поверхности U-образной секции пароперегревателя. Следует обратить внимание на происходящее местами отслоение магнетита.

Основываясь на отставках оксидов из-за их переноса, обычно термическими на решетках. Напряжения могут увеличиваться если происходит задымление выхлопа тру. Проложенные толстые газы по определенным каналам может вызвать перегрев, а мест перегрева. Разрушение шпала в чаше почти во время продувки для удаления сажи может вызвать резкие колебания температуры поверхности котла, но доказательств, что одна линия отрыва сажи может вызвать отставание не существует.

Пузырьки магнетита разрастаются так, образуя иная при высокой температуре магнетит занимает больший объем, чем металл, из которого он образуется. Поэтому в нарастающих слоях могут возникнуть сильные напряжения и приводящие к их короблению. Когда температура высока, оксид вместо разрушения может медленно деформироваться.

Фактически для всех пар перегревателей отмечено незначительное отставание металла по мере увеличения длительности эксплуатации. Однако избыточные резкие колебания нагрузки, механические вибрации и изменение в режиме работы увеличивают напряжения, которые и приводят к отслаиванию.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.5

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Сетчатый фильтр перед турбиной
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	8
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2200 фунт/кв. дюйм (15.2 Мпа)
Характеристики труб:	Проволока из мягкой стали диаметром 0.035 дюйма (0.88 мм), размер отверстий в сетке фильтра 0.040 дюйма (0.12 мм)
Топливо:	Каменный уголь

После проведения профилактического осмотра пароперегревателя было обнаружено, что происходит отслаивание и отслаивание магнетита с изогнутых поверхностей. Для осмотра были демонтированы участки фильтров грубой и тонкой очистки, установленные на входе в турбину.

Приблизительно 10% отверстий в фильтре тонкой очистки были забиты мелкими частями лаковой из магнетита. Небольшое количество чешуйки при попытке пропустить через пароперегреватель отслаивались из фильтра. Рис. 1.7. Были обнаружены также несколько осколков и куски застывшего металла, образовавшегося при работе с газовой горелкой. На фильтре для грубой очистки остались мешочки из стали, диаметр 0.040 дюйма (1.02 мм) и диаметр 0.15 дюйма (3.8 мм). На его боковых частях, обращенных в сторону пылевого потока, были найдены следы от удара летящих частицами.

В последнее время было замечено некоторое ухудшение рабочих характеристик турбины и возникло подозрение, что оно вызвано эрозией лопаток твердыми части-

нам, чтобы установить тип повреждения. Однако, хотя с помощью прибора мы выявили лишь незначительные ее повреждения.

Для уменьшения количества энергии при прохождении химической установки, мы ее в перерыве между сменами трубника отключили. Хотя обычно в этот период рваности в это время посчитали излучением.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 1.6

Промышленности:	Химическая установка
Местоположение образца:	Труба переднего экрана, на 6 футов (1,8 м) выше коллектора подвода экрана
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	5
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	425 фунт/кв. дюйм (2,93 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 3,25 дюйма (82,6 мм)
Топливо:	Природный газ и мазут № 6

Один из 64х результатов анализа выявил следующие повреждения. Было обнаружено, что поверхность трубы покрыта темной ржавчиной с окислением. Рис. 1.24. Все отложения со стороны внешней части составили 280 кв. футов (2,6 м²) в см. в то время как вес с каждой стороны был 82 г/кв. см. Отложения с дерева карбоната кальция и фосфат кальция а также гидроксид магния.

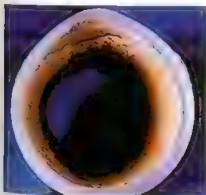


Рис. 1.24 Поперечное сечение воздушной трубы переднего экрана. Изложения шестидесяти процентов, в кольцевидной стороне трубы. Обнаружены карбонаты кальция и фосфат кальция и гидроксид магния.

Котел работал периодически с нагрузкой до 90 000 фунтов (40 900 кг) пара в час в течение года (проектная нагрузка 75 000 фунтов/ч или 34 000 кг/ч). В качестве топлива попеременно использовали природный газ и мазут № 6, а за один месяц до аварии стали использовать исключительно мазут. Горелки были заменены более мощными.

По существу, причиной отложений был избыток избыточного тепла на стороне наружных стенок котла. Перегрев, которому способствовали увеличение отложений, вероятнее всего и привел к аварии. Кроме того, конструкция горелок и чрезмерно высокое производство пара внесли значительный вклад в образование отложений и, в конечном счете, в вероятность перегрева.

Длительный перегрев

Места скопления отложений

Неисправности, вызываемые длительным перегревом, появляются в трубах охлаждаемых водой и паром в частности в боковых экранах циркуляционных труб, в трубах пароперегревателей, промежуточных пароперегревателей и в садовых трубах. Почти 90% всех разрушений, вызванных длительным перегревом происходят в пароперегревателях, промежуточных пароперегревателях и в боковых экранах топки. В экономизерах и садовых трубах длительный перегрев происходит редко. Особенно подвержены перегреву трубы, содержащие значительные отложения, с пониженным расходом охлаждающей жидкости, с чрезмерным подводом тепла со стороны топки или расположенные непосредственно вблизи или прямо напротив зрежера.

Длительному перегреву обычно подвергаются трубы, расположенные вблизи механической топки с тепловой колосниковой решеткой и по соседству с каналами или другими проходами для топочных газов. Подвержены перегреву также секции с поврежденной огнеупорной облицовкой. В котлах-утилизаторах перегрев обычно происходит на экранных трубах расположенных вблизи слоя расплавленного металла без верхней затвердевшей корки или слоя углеродистого вещества. Скопленные трубы с выступами особенно подвержены длительному перегреву из-за каналирования пара. Перегрев дымогарных труб происходит редко.

Неисправности обычно охватывают относительно обширные зоны с большим числом труб, например в середине вертикального экрана, причем приблизительно на одной и той же высоте. Обычно происходит разрыв или вспучивание одновременно нескольких труб.

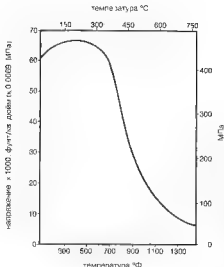


Рис. 2.1 Предел текучести обыкновенной углеродистой стали как функция температуры. Следует отметить, что около 800°F (430°C) происходит быстрое снижение предела текучести.

Общие сведения

Длительным перегревом считают такие условия эксплуатации оборудования, при которых температура металла превышает проектные пределы в течение многих суток, недель, месяцев и более. Этот вид перегрева становится причиной большего числа аварий, чем любые другие механизмы. Поскольку при повышенных температурах сталь теряет большую часть своей прочности (Рис. 2.1), то мере повышения температуры вызываемые нормальным для данных условий внутренним давлением разрывы становятся все более вероятными.

Максимально допустимая температура предусмотренная при проектировании оборудования, зависит в основном от металургических свойств материала труб. В результате увеличения количества легирующих добавок в сталь, особенно хрома и молибдена, могут допускаться и более высокие температуры, поэтому в пароперегревателях и промежуточных пароперегревателях используют трубы из специальных сталей (Таблица 2.1). Длительный перегрев зависит от температуры, длительности периода воздействия данной температуры и от металлургических свойств материала трубы.

Труба из мягкой стали, находящаяся под действием температур около 850°F (454°C) более нескольких суток, может оказаться подвергнутой длительному перегреву. Если температуры останутся повышенными в

ТАБЛИЦА 2.1 Температуры, при которых термическое окисление становится чрезмерным

Стальной сплав	Приблизительная температура образования гадкета	
	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$
Углерод	1025	550
„Mo	1050	570
1/2Cr-1/2Mo	1070	580
1Cr-1/2Mo	1100	600
2Cr-1/2Mo	1100	600
2 1/2Cr-1/2Mo	1100	600
3Cr-1/2Mo-Mo-1/2S	400	760
5Cr-1/2Mo	1150	650
5Cr-1/2Mo-1/2Si	1150	650
5Cr-1/2Mo-Ti	1150	650
7Cr-1/2Mo	1150	680
9Cr-1Mo	1420	770
12Cr	1420	770
7Cr	1550	850
8Cr-8Ni	1600	870
8Cr-8Ni, Ti	1700	930
8Cr-8Ni, Sb	1650	900
8Cr-8Ni, Mo	1650	900
25Cr-12Ni	2000	1100
25Cr-20Ni	2000	1100
27Cr	2000	1100

* Температура, при которой окисление составляет 10 милл² за 1000 ч.

ление более длительного периода, и этот срок обязательно произойдет. С повышением температур действующих в течение определенного периода времени, опасность последствий перегрева увеличивается. При этом видимые признаки значительной деформации или тепловых повреждений могут и не появляться.

Температура топочных газов часто превышает 2000 $^{\circ}\text{F}$ (1093 $^{\circ}\text{C}$). Теплопередача к котельной трубе частично зависит от теплоизоляционных свойств вещества вблизи внутренних и наружных поверхностей (см. Главу «Отложения из воды и пара»). На теплопередачу оказывает заметное влияние толщина газовой пленки, которая образуется при участии на внешних поверхностях. Перепад температур через пленку, и тогда достигают величины свыше 1000 $^{\circ}\text{F}$ (537 $^{\circ}\text{C}$). Отложения, продукты коррозии, огнеупорные и другие вещества присутствующие на внешних поверхностях также могут снижать температуру металла. Термическое сопротивление труб может вызывать лишь небольшой перепад температур через стенку.

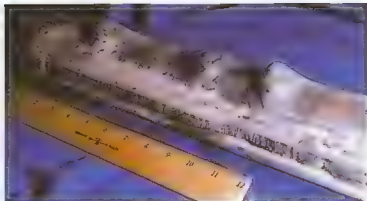


Рис. 2.2 Массивная коррозия внутренней поверхности водопроводящей стальной трубы диаметром 1 метр

Когда рассматривается теплопередача через поверхность трубы со стороны воды, эффект воздействия отложений становится обратным. Слои пара и отложения препятствуют охлаждающему влиянию воды на металл, что приводит к уменьшению теплопередачи к воде и увеличению температуры металла.

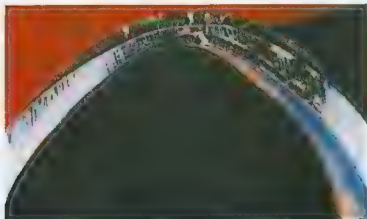
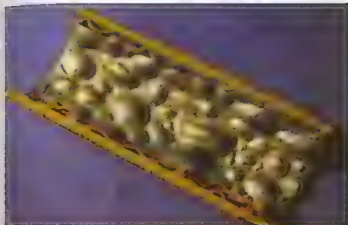


Рис. 2.3 Толстый слой окислов, возникший в результате коррозии внутренней поверхности водопроводящей стальной трубы диаметром 1 метр. Внутренний диаметр трубы уменьшился в результате пластической деформации, вызванной термическим расширением



Page 24

RECEIVED 31/11/1995

Результаты исследования приведены в табл. Вмешательство в процесс не должно приводить к изменению температуры при постоянных условиях окружающей среды. Скорость реакции должна зависеть от температуры и концентрации реагентов. Константа скорости реакции k должна зависеть от температуры по уравнению Аррениуса. Константа скорости реакции k должна зависеть от концентрации реагентов по уравнению закона действующих масс. Константа скорости реакции k должна зависеть от площади поверхности катализатора по уравнению Ленгмюра-Хиншельвуда (рис. 2.7). Механизм реакции должен соответствовать экспериментальным данным. Если реакция протекает по механизму Ленгмюра-Хиншельвуда, то константа скорости реакции должна зависеть от концентрации катализатора по уравнению Ленгмюра-Хиншельвуда.

В статье рассмотрены вопросы, связанные с организацией и проведением конкурсов на право заключения договоров с поставщиками, производителями, исполнителями работ и услуг. Описаны основные этапы проведения конкурса, рассмотрены вопросы формирования конкурсной комиссии, выбора критериев оценки заявок, проведения торгов. Приведены примеры оформления документов, необходимых для проведения конкурса. Кроме того, рассмотрены вопросы организации и проведения тендерных аукционов, а также вопросы заключения договоров с победителем конкурса. В заключение автор делает вывод о необходимости проведения конкурсов на право заключения договоров с поставщиками, производителями, исполнителями работ и услуг, а также о необходимости совершенствования законодательства в этой области.

Термическое окисление («горение» металла)

1. α — матрица, характеризующая свойства среды; α_{ij} — коэффициенты матрицы α ; $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ — симметричность. При $\alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33} = 1$ матрица α называется единичной.

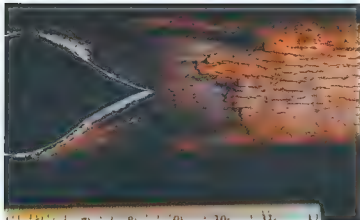


Рис. 2.5 Вид сверху шлица торцевых частей разъемной трубы. А — на горизонтальной зажимной трубе, Б — на вертикальной. Следует отметить отслоение и растрескивание лапок в месте соединения. Завальцовка внос расширения трубы при разрезе, при этом в трубе не было никаких повреждений.

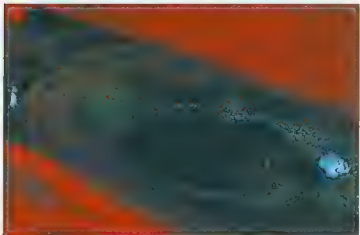


Рис. 2.6 Съемка по окладу шлица торцевых частей трубы в воде. В центре — шлиц. В области хвостового лапчатого магнетита все еще с включением конуса торцевой трубы в отверстие не видно никаких признаков разрушения. В некоторых местах включение конуса торцевой трубы. Также видно, что в месте лапчатого магнетита, вероятно, при входе в трубу, а также в месте внутренней лапчатой лапки, оставшихся чешуек, вероятно, произошло разрушение.



Рис. 2.7 Небольшой выветренный коллинектас рогатки, зафиксированный в керне в скважине. Следует отметить, что коллинектас рогатки не имеет коллинектасов, как это было бы в случае рогатки.

характерное для каждого сплава термическое окисление становится чрезмерным. Температуры, при которых происходит окисление сплавов (температуры образования оксидов), приводятся в таблице 2. Часто слой оксидов, образовавшийся в результате термического окисления, содержит продольные трещины и трещины. В других зонах участки оксида могут отслаиваться (Рис. 2.5). Трещины и места отслоения возникают в результате расширения и сжатия трубы, вызванных деформацией во время перегрева и/или под действием термических напряжений. В результате длительного термического окисления и отслоения может происходить утончение стенки трубы. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока вся стенка не превратится в оксид и в ней не возникнет отверстие (Рис. 2.6).

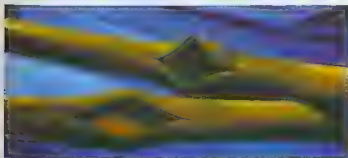


Рис. 2.8 Две трубы, подвергшиеся воздействию термической усталости (1400 фунтов на дюйм или 9,7 МПа) разорванные под действием излучения. Разрывы имеют форму кривой пещеры (с рис. 2.7).

Разрушение при ползучести (под действием напряжений)

Разрушение при ползучести (под действием напряжений) – форма повреждения, вызванного длительным перегревом и обычно имеющего вид разрыва с острыми краями на вершине вздутия. Ползучесть вызывает медленно действующие пластические деформации и вероятность слияния микропоростей в металле во время перегрева. Часто на вершине подвергнувшегося сильному окислению вздутия образуется небольшая продольная трещина (Рис. 2.7). В других случаях разрыв может иметь большие размеры и форму «рыбьего рта» (Рис. 2.8). Разрушение обычно приводит к образованию прутков, стержней и слегка изогнутых краев. Рядом могут образоваться похожие, но меньшей величины, продольно ориентированные разрывы и трещины.

Цепочечная графитизация

При длительном перегреве может произойти повреждение несколько необычной формы – цепочечная графитизация. Это повреждение начинается тогда, когда частицы карбида железа обычно присутствующие в обыкновенной углеродистой или низколегированной стали разлагаются с образованием графитовых узелков в результате длительного перегрева при температурах выше 800°F (427°C). Графитовые узелки, если они равномерно распределены в стали, редко вызывают повреждения. Однако иногда они объединяются в цепочки, образуя расположенные в одной плоскости пустоты, заполненные графитом. Узелки обычно образуются в местах микроструктурных дефектов или в присутствии вредных примесей, а также вдоль линий ден-

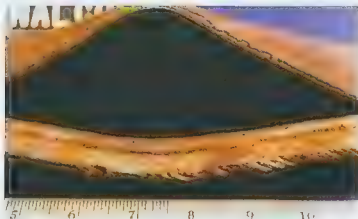


Рис. 2.9 Разрыв продольно ориентированной цепочки графитизации. Можно видеть закругленный верховый край разрыва. Такие разрушения происходят только в тех случаях, когда



Рис. 2.10 — графитовые узелки, возникающие в результате длительного перегрева. Эти узелки образуются в результате необратимых расширений металла

ствия напряжения. Напряжения, создаваемые внутренним давлением, вызывают разрушение металла вдоль цепочек узелков, во многом сходное с тем, как точечный штепель разрывает бумагу вдоль перфорированных краев.

Цепочечная графитизация обычно обнаруживается в сварных швах (Рис. 2.9). Редко такие повреждения возникают вне сварных швов, образуя спиральные трещины на поверхности труб (Рис. 2.10). Эти повреждения иногда принимают за повреждения, вызванные недостатком окалиноотделительных микроскопических исследований, помогают выявить присутствие графитовых узелков на краях разломов или вбегать в них.

Важнейшие условия для появления длительного перегрева

Длительный перегрев — проблема скорее хроническая, чем временная. Он является результатом длительного накопления отложений или продолжительных сбоях в работе системы. Образование значительных внутренних отложений на оребрителе, на холодной стороне внешних труб часто свидетельствуют об изоляции или стенки трубы от охлаждающего действия воды, что и приводит к перегреву.

Опыт показывает, что при соотношении отложений от холодной к горячей стороне труб превышает 3:1 подвод тепла с холодной стороны теплее с горячей стороны существенно выше, чем с холодной. Когда это отношение достигает 10:1, подвод тепла с горячей стороны по отношению к подводу с холодной может оказаться чрезмерным. Во многих случаях это отношение будет ниже 3:1, когда подвод тепла с горячей стороны

структурных изменений в окрашивающей трубе, а также должно быть предусмотрено наличие контрольных точек для мониторинга структурных материалов.

Источники информации о состоянии должны быть направлены на устранение основных причин, которые могут быть нарушены в результате коррозии, вызванной разложением системы смазки, а также на их проверку в соответствии с требованиями. Каждая из возможных причин должна быть тщательно рассмотрена.

Меры предосторожности

Было обнаружено, что в результате перегрева, теплового воздействия на трубу происходят повреждения труб. В стенках труб произошло увеличение толщины стенок из-за структурных изменений, но они практически не влияют на долговременную работоспособность и прочность труб. Однако при перегреве происходит увеличение температуры, вероятность повреждения значительно увеличивается.

Разрушения из-за длительного и быстрого перегрева могут быть значительными. Часто стенки быстро и длительно перегреваются, что приводит к быстрому разрушению. Разрушения из-за быстрого перегрева могут быть связаны с химическими процессами и другими причинами, а также с потерей металла. Это время как химическая коррозия, так и коррозия, вызванная перегревом, приводит к разрушению. На более короткое время перегрева не оказывает значительного воздействия. Быстрое увеличение температуры перегрева приводит к значительным кратковременным перегревам, которые должны быть устранены, чтобы избежать повреждений. Быстрое увеличение температуры перегрева может вызвать разрушения без микрохимических изменений.

Сопутствующие проблемы

См. также Главу 1 («Отложения извести»), Главу 3 («Коррозия из-за перегрева»), Главу 4 («Щелочная коррозия») и Главу 14 («Концентрация, вызванная водородом»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 2.1

Промышленность:	Продукты переработки газа
Местоположение образца:	Парогенератор 3 фута (1 м) над подом топки вблизи центра котла
Ориентация образца:	Горизонтальная, рядом с жарочной стенкой
Срок службы, годы:	12
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	Проектное: 700 фунт/кв дюйм (4,8 МПа) рабочее: 600 фунт/кв дюйм (4,13 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр: 2 дюйма 51 мм SA 213 T22
Топливо:	Природный газ

Хрупок — черной стальной лист — покрывает внешнюю и внутреннюю поверхности трубопровода ржавчиной. Остатки образования термическим путем имеют разлом и отслаивание от поверхности из-за уменьшения толщины стенки (Рис. 2.11). Утолщение стенок было более значительным вдоль стороны сечения, примыкающей к кирпичной стене.

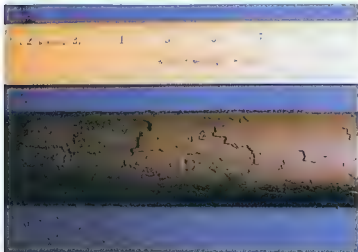


Рис 2.11 Состояние трубопровода, находящегося в эксплуатации на внешней поверхности. Слой стальной черной стальной лист, который был разрушен из-за утолщения стенок

Большая часть металла была потеряна в результате коррозии в среде сернистого окисления при температурах от 190 до 354°F (64-227°C). Движение газа по определенным каналам и повышенные температуры были характерны для коррозии, прилегающей к кирпичной стене. Эти факторы ускорили процессы окисления и сдвигания.

В прошлом близлежащие трубы были разрушены в результате утолщения труб, связанного с термическим окислением. На внутренних поверхностях отложения не было, и поэтому охлаждающей воды не проводили. В дальнейшем периодически забывали о смазывании труб со стороны, к которой было обращено.

Разрушения становятся критическими при условии, связанном с конструкцией, условиями эксплуатации и системы. Большая разрушение кирпичной стене легко определить в качестве их признака, поскольку разрушения конструкции котла.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 2.2

Промышленность:	Сталелитейная
Местоположение образца:	Центр точечного экрана
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	8
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт кв. дюйм / 8,3 МПа.
Характеристики труб:	наружный диаметр 3 дюйма / 76 мм,
Топливо:	Доменный газ

Проводимые трещины и постепенные разрушения в угловых участках привели к образованию трещин с одной стороны отоскопа (рис. 2.12). Поверхность была покрыта неравномерным слоем желтовато-коричневого налета, а внутренняя поверхность обкладки сквозной трещиной приобрела пестрый вид.

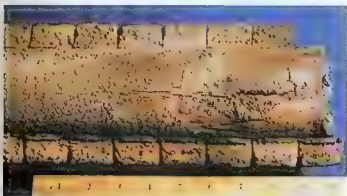


Рис. 2.12 Проводимые трещины и постепенные разрушения в угловых участках привели к образованию трещин с одной стороны отоскопа

Разрушение и трещины в металле были вызваны перегревом металла из-за перегрева металла при температуре 454-500 °C. Наличие признаков такого повреждения указывает на то, что температура в камере сгорания была слишком высокой. После ремонта, в ходе измерения по трещинам по сравнению с расходом охлаждающей воды.

На близлежащих трубах были признаки подобных, хотя и менее серьезных, разру-

шений. Сложившаяся внутри труб коррозия с горячим паром связана не только с тем, что фут (22 мм). Последнюю часть котла привели к заводу авиацион-

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 2.3

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Задняя стенка 30 футов (9,1 м) от передней стенки
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	15
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	620 фунт/кв. дюйм (4,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3 дюйма (76 мм)
Топливо:	Каменноугольная пыль

Труба имеет несколько выветренных участков, расположенных параллельно нагретой стороне (рис. 2.2). Толстые слои твердого, прочного слоя, состоящего из оксидов железа, покрывают большую часть поверхности. Внутренняя поверхность осталась открытой с одной стороны, покрытая рыхлыми отложениями, которые были обожжены поверх твердого черного магнетитового слоя. На внутренней стенке на тонком слое можно видеть несколько разрывов. Котел подвергался частым изменениям нагрузки и работы с перерывами.

Давление и температура трубы варьировались в максимумах в зависимости от 95 до 115 °F (30-40 °C). Причины образования отложений были дисбалансом между расходом охлаждающей воды и давлением газа со стороны топлива. Все отложения достигли около 5 кв. футов (5 кв. м) на задней стороне и 7 кв. футов (7 кв. м) на горячей стороне. Причины отложения были пересыхание поверхности во время цикла с инверсионной растворимостью, повышение их коррозионности за счет пересыхания механического уноса пылеобразного вещества.

В условиях частых изменений нагрузки и перерывов в работе системы был рекомендован более тщательный эксплуатационный контроль.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 2.4

Промышленность:	Сталелитейная
Местоположение образца:	Пучок труб первичных пароперегревателей
Ориентация образца:	Вертикальная подвеска
Срок службы, годы:	16
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	1200 фунт/кв. дюйм (8,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2,25 дюйма (57 мм)
Топливо:	Коксовый газ

На прямых ответвлениях I-образной сварки имеются три больших вздутия. Каждое из них на своей вершине имеет разрыв. Диаметр трубы в месте вздутия увеличен до 2,5 дюйма (64 мм) по сравнению с первоначальным диаметром 2,25 дюйма (57 мм). Вздутия показаны на Рис. 2.3 и 2.4. На внутренней поверхности отложения незначительные, в то время как наружные поверхности покрыты прочно сцепленным с поверхностью фрагментированным слоем окалины. Аналогичные раздувания произошло из труб охлаждающей воды котла, работающей на отходящем газе слябковой печи.

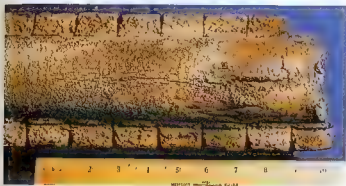


Рис. 2.13 Вздутия и пороченный I-образный шов пароперегревателя. Горючий газ в сети трубы сильно раздувается

Перегрев трубы происходил в течение нескольких суток или более при температурах свыше 1000°F (540°C), и ниже 750°F (400°C). При высоких температурах происходило уменьшение прочности стенки, а также утончение и ослабление труб под влиянием термического окисления. В результате такого двойного эффекта уменьшения прочности на трубах возникали вздутия с последующим их разрывом.

Рабочие записи показали повышение температуры пара почти на 100°F (36°C) приблизительно за 2 месяца до аварии. Это повышение совпало с изменением режима обогрева в связи с переменами в работе слябковой

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 2.5

Промышленность:	Установка по производству энергосредств
Местоположение образца:	Ввод в первичный пароперегреватель, секция с самыми горячими топочными газами
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	20
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт/кв. дюйм (8,3 МПа)
Характеристики труб:	Трубы с круговым сварным швом, наружный диаметр 2 25 дюйма (57 мм)
Топливо:	После аварии уголь (серы 1%, зольность менее 10%) в период за 6 месяцев до аварии использовали мазут (серы 2%, ванадия 200-400 ч/млн)

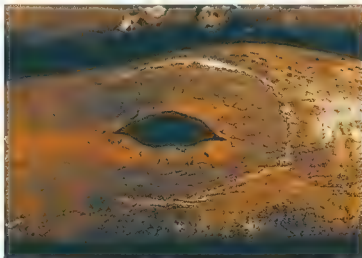


Рис. 2.14 То же, что и на Рис. 2.4. Вокруг разрыва в трубе сформировался слой фрагментов металла, образовавшегося при выгорании температур

В секции произошло образование значительного продольного разрыва с толстыми краями, который появился рядом с кольцевым сварным швом. Разрыв произошел непосредственно за сварным швом, вызвав изгиб трубы в форме U. Разрушение на другом конце проявилось в виде пары поперечных разрывов с толстыми краями (Рис. 2.15). Толщина, почти идентичная с поверхностью слоя магнетита,

крывает наружные поверхности за исключением участков рядом с разрывом, где металл растрескался и откололся. На внутренних поверхностях имелись местами открытые элементарной медью и другими отложениями.



Рис. 2.15 Значительный разрыв с толстыми краями, вызванный ползучестью. Колышковой сваркой шов можно видеть через редкий сетчатый металл покрытия. Под действием разрыва труба изогнулась под углом 90°

Разрушение было вызвано длительным перетревом при температурах свыше 450°С (500°С). Сам разрыв произошёл за счёт пластических деформаций ползучести. Причиной были неравномерность потока охлаждающей воды из сварным швом, вызванная выступами и на внутри трубы, а также внутренними отложениями, которые привели к уменьшению теплопередачи. Кроме того, переход с мизута на иголь наверхика привел к изменению подвода тепла со стороны топки.

Пароперегреватель ранее подвергался воздействию у воды котловой воды в колёбания нагрузки были обычным явлением. Не менее, чем за 2 года до рассматриваемой, в этом же месте произошла предыдущая авария.

Кратковременный перегрев

Участки, наиболее подверженные кратковременному перегреву

Разрушения, вызванные кратковременным перегревом, практически происходят лишь в трубах, охлаждаемых паром и водой, включая сливные трубы, вертикальные экраны, своды, пароперегреватели и промежуточные пароперегреватели. Чаще всего разрушениям подвергается пароперегреватель и промежуточные перегреватели из-за своей высокой рабочей температуры. Аварии, вызванные кратковременным перегревом, почти никогда не происходят в экономайзерах, где температуры не так высоки.

Когда происходит снижение уровня воды, часто происходят разрушения в верхней части топочных экранов вблизи паросборника. Одна разорванная труба среди других уцелевших труб заставляет предположить забивку или другие нарушения, вызывавшие затруднения в нормальном течении потока.

Ошибки в регулировании температуры обычно не вызывают кратковре-

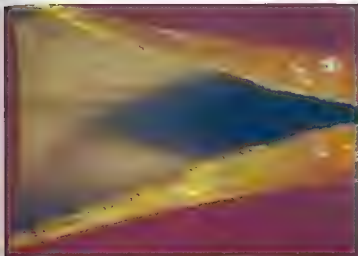


Рис 3.1 Проникновение трещины в материал в виде тонкой линии, идущей до места разрыва, которая в свою очередь, вызвала кратковременный порыв. Вследствие этого края разрыва. Таким образом, когда материал находится в состоянии порыва, трещина, идущая до места разрыва, вызывает кратковременный порыв. Вследствие этого края разрыва. Таким образом, когда материал находится в состоянии порыва, трещина, идущая до места разрыва, вызывает кратковременный порыв. Вследствие этого края разрыва.



Рис 3.2 Вид трещины, идущей в направлении порыва, в момент образования трещины. Таким образом, когда материал находится в состоянии порыва, трещина, идущая до места разрыва, вызывает кратковременный порыв. Вследствие этого края разрыва.



Рис. 3.3 Металл потерял прочность, одновременно нагреваясь. Труба сломалась почти в прямом угле, что вызвано большой силой разрыва

При повышенных температурах прочность металла заметно снижается (Рис. 3.1). Действительно, если температура поднимается до очень высоких уровней, разрушение происходит очень быстро. Если это происходит, воздуха может отсутствовать, а разрушение будет очень медленным, иногда с разгибанием труб, почти пополам и с ее повторными разрывами (Рис. 3.3). В случае разрыва с толстыми краями окружность трубы в месте разрыва иногда почти в точности равна окружности трубы в стороне от разрыва. Окружность трубы можно приблизительно измерить с помощью куска веревки.

Края разрыва могут быть затуплены и могут сохранять первоначальную толщину стенки трубы, или толщина будет постепенно уменьшаться, и края наконечников примут пожевую или далообразную форму. В некоторых случаях диаметр трубы может равномерно расширяться без разрыва. Многоточечные вздутия обычно не образуются, но могут появиться одновременно с разрывом, особенно если ранее уже происходили длительные перегревы (Рис. 3.4).

При быстром разрыве значительные внутренние отложения обычно отсутствуют, поскольку они вряд ли являются причиной разрушения. Кроме того, есть отложения все же присутствуют, они обычно рассыпчатые и легко поддаются удалению мягким соскабливанием, не прилипая к поверхности, что характерно для длительного перегрева. Будет отсутствовать и наклоненный толстый слой металла, подверженный термическому разрушению.

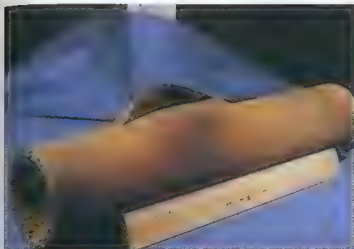


Рис. 3.4 Разрыв в сварном шве. Излучение Труба подверглась воздействию перегрева, за который последовал кратковременное действующим сильнейшим перегревом

Предупреждение кратковременного перегрева

Решение проблемы кратковременного перегрева, который часто вызывает нарушениями нарушенными рабочими условиями состоит в устранении этих нарушений. Если есть подозрение в уменьшении расхода охлаждающей воды из-за забивки труб, необходима проверка коллекторов, барабанов, U-образных изгибов, длинных горизонтальных участков труб и других зон, в которых могут накапливаться отложения посторонних веществ. Это особенно касается тех случаев, когда авария происходит вскоре после очистки котла. Уровень воды в котле, процедуры сжигания топлива, а также процедура продувки и пуска должны быть тщательно рассмотрены. Особую осторожность нужно вызывать во избежание возникновения кратковременного сбоя не посреди времени после предыдущей аварии, которая могла нарушить циркуляцию, сместить отложения и продукты коррозии, а это, в свою очередь, может довести до теплопередачу.

Меры предосторожности

Сам по себе продольный разрыв с толстыми краями не достаточен, чтобы гарантировать правдивость диагностики кратковременного перегрева. Необходимо чрезвычайная осторожность, если разрыв произошел в сварном или трубном шве или если вблизи разрыва обнаружены признаки износа металла. Разрывы с толстыми краями, вызванные кратковременным перегревом, мож-

но легко принять за разрушения под действием длительного перегрева из-за ползучести, за разрушения, вызванные водородным охрупчиванием или же определенными дефектами металла труб. Отсутствие отложений вблизи разрыва иногда можно объяснить сжижающим действием жидкости, вытекавшей из места разрыва. Кроме того, кратковременный перегрев может произойти и после длительного перегрева. Для определения характера разрушения все эти механизмы обычно требуют металлографических исследований.

Микроструктурные изменения, происходящие в течение кратковременного перегрева, не всегда ведут к аварии. Кроме того, не обязательно заменять трубы, которые подверглись кратковременному перегреву. При перегреве значительное изменение механических свойств происходит далеко не всегда.

Сопутствующие проблемы

См. Главу 2 («Длительный перегрев»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 3.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Топочный экран, секция свода
Ориентация образца:	Наклонная
Срок службы, годы:	5
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1800 фунт/кв. дюйм (12,4 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2 5/8 дюйма (64 мм), с внутренним рифлением
Топливо:	Каменноугольная пыль

Данная секция свода топочного экрана с внутренним рифлением содержит боковой разрыв с толстыми краями. Край имеют длину 1/2 дюйма (300 мм) и зазубренный контур (Рис. 3.5). Гладкие внутренние и наружная поверхности покрыты тонкими, прочно сцепленными с поверхностью темными слоями оксидов. Значительные слои отложений литде не обнаружены.

Авария произошла вскоре после пуска котла. Микроструктурные признаки указывают, что металл трубы вблизи разрыва подвергся воздействию температур 600°F (316°C). Никаких значительных отложений образованного под влиянием термического воздействия оксидов на представленной секции обнаружено не было.



Рис. 3.5 Большой разрыв в фланге фреймного ригя в месте свода с внутренней и внешней стороны. В разрыве толстые, тупые и зазубренные. Значительные отложения окислов металлов

Внутреннее отражение иногда используют для уменьшения скачкообразности в потоке пара и предотвращения образования паровой подушки. На внутренних поверхностях не было признаков образования паровой подушки или границ раздела жидкости – пар не обнаружено. Не было никаких изменений и в микроструктуре металла с холодной стороны, указывавших на то, что труба содержала воду во время разрыва. Скорее всего разрыв был вызван недостаточным расходом охлаждающей жидкости во время пуска.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 3.2

Промышленность	Нефтеперерабатывающая
Местоположение образца	Электростанция, трубы вблизи паросборника
Ориентация образца:	Слегка наклонная
Срок службы, годы:	25
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	800 фунт/кв. дюйм (5,5 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3,25 дюйма (83 мм)

Котел, из которого была удалена труба, подвергался значительным колебаниям нагрузки после монтажа новых парогенераторов, утилизирующих отходящее тепло. Котел часто содержал в резервной готовности, поддерживая очень слабый обогрев или полностью отключая от системы. Пар низкого давления возвращают в паросборник для небольшого подогрева без циркуляции.

Произошло образование модного продольного разрыва с тупыми краями. Вдоль трубы от угла открытого разрыва идет узкая прямая трещина (Рис. 3.6). Внутренние поверхности гладкие, за исключением глубоких следов отложения от инструмента после изотопления. В стороне от разрыва присутствует толстый и равномерный слой светлых отложений.

Авария была вызвана серьезным перегревом, возникшим в результате ограничения подачи охлаждающей воды. Небольшой дефект (след от инструмента) совпал с типичной разрывной линией, но он не мог послужить существенным фактором в образовании разрыва.

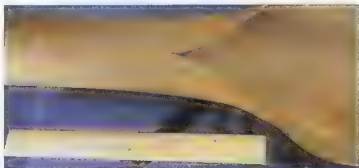


Рис. 3.6. Продольная трещина, идущая от края большого широко раскрытого разрыва.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 3.3

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Пароперегреватель котла-утилизатора
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	10
Программа водочистки*	Полимерная
Давление в барабане:	600 фунтов/кв. дюйм (4,13 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3 дюйма (76 мм), со спирально накрученными ребрами 7/16 x 3/16 дюйма (15 мм)
Топливо:	Отходящее тепло после газовых турбин

Отходящее тепло газовых турбин

Разрывы имели 4,25 дюйма (108 мм) и шириной 1,6 дюйма (41 мм) и залезли в место изгиба (Рис. 3.7). На внутренней и на наружной поверхности имеется толстый черепной слой образовавшегося при термическом воздействии оксида. Ближе толстый слой горячий стороны трубы. В трубе обнаружены отложения, содержащие натрий, кальций, кремний и железо, в количестве 38 мкг/фут (41 мг/см²). Часто происходил унос котловой воды в пароперегреватель во время сильного потока пара, и вода не успевала выпадать. Котел никогда не чистили.



Рис. 3.7. Большой и резко расширенный разрыв в трубе, расположенной в потоке отходящего тепла. Труба подвергалась длительному перегреву, а также кратковременный перегрев с раздуванием соседних труб.

Температура отходящих газов составляла 200–1800°F (630–980°C). Труба подверглась разрушению вместе с несколькими другими трубами. Трубы, расположенные рядом с образцом, были разрушены в результате длительного перегрева (позднее в то время как другие в результате кратковременного перегрева). Было установлено, что оксиды железа в течение длительного периода времени с внутренней стороны перегрева, однако была разрушена при внезапном аккордном перегреве, когда температура превысила 1350°F (730°C). Возможно, кратковременный перегрев был вызван нехваткой охлаждающего свойства вследствие утечки из других разрушенных труб, расположенных выше по потоку.

Щелочная коррозия

Места коррозионных повреждений

Щелочная коррозия обычно происходит в следующих местах: 1. Вертикальные трубы в зонах с большим расходом тепла; 2. Наклонные или горизонтальные трубы; 3. Места, расположенные под толстыми отложениями; 4. Зоны теплопередачи вблизи подкладных колец, в сварных швах или рядом с ними и другими устройствами, препятствующими нормальному потоку.

Общие сведения

Термины щелочное «высодание» и пластичное образование выемок относят к коррозионному взаимодействию достаточно концентрированного раствора гидроксида натрия с металлом, в результате которого происходит образование отчетливых полусферических или эллиптических углублений. Эти углубления могут быть заложены плотными продуктами коррозии, которые иногда содержат блестящие кристаллы магнетита. Иногда место коррозии бывает покрыто коркой твердых отложений и продуктов коррозии, содержащей кристаллы магнетита. Поврежденные поверхности металла имеют мягкую, закругленную форму.

Чувствительность стали к воздействию гидроксида натрия основана на амфотерном характере оксидов железа, т.е. оксиды железа корродируют в условиях как низких, так и высоких значений pH (Рис. 4.). Вещества с высоким значением pH, в частности гидроксид натрия, растворяют магнетит



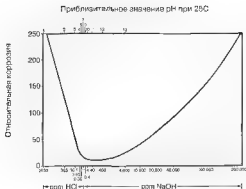


Рис. 4.1 Взаимосвязь на сталь воды, имеющей реальную кислотность и щелочность при температуре 25 °C (590 °F). (Кривая Лигрианда и Холла, основанная на данных Берга и ван Тейка) С разрешения Herbert H. Uhlig, *The Corrosion Handbook* («Справочник по коррозии»), John Wiley and Sons, New York, 1946

Когда магнетит удален, гидроксид натрия может реагировать непосредственно с железом



Важнейшие условия, приводящие к коррозии

Для щелочной коррозии необходимы два важнейших условия. Первое присутствие гидроксида натрия или солей, создающих щелочную среду (т.е. солей раствор которых может образовать основание). Гидроксид натрия часто специально добавляют в котловую воду в количествах, не вызывающих коррозии. Он может также попадать в воду случайно, если в подпиточную воду попадут химические реагенты из умягчителя воды, восстанавливаемого путем добавки гидроксида натрия. Соли, создающие щелочную среду, могут также загрязнять конденсат в результате просачивания в конденсатор или попадания из технологических потоков. Плохо контролируемое или неисправно работающее оборудование для подачи химических реагентов также может стать причиной повышенной щелочности.

Второе условие — влияние механизма концентрирования. Поскольку гидроксид натрия и соли, создающие щелочную среду, редко присутствуют в количестве, достаточном для коррозии, должны существовать процессы, приводящие к их концентрированию. Существуют три основных механизма такого концентрирования.

1. Кризис пузырькового кипения (КПК) Термин пузырьковое кипение определяет условия, при которых на поверхности металла зарождаются

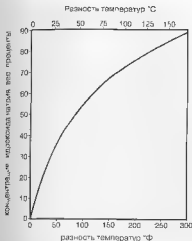


Рис. 4.2 Кривая температур в градусах Фаренгейта и градусах Цельсия. Кривая получена из данных из *International Critical Tables*, 3rd Ed. (1928); с разрешения *Herbert H. Lohr, The Corrosion Handbook* (ed. by W. R. Shyne), John Wiley and Sons, New York, 1948.

сильные пузырьки пара. Обычно при формировании пузырьков пара на металлической поверхности остаются мельчайшие твердые частицы, содержащиеся в котловой воде, как правило на поверхности раде- пузырьков и воды. Когда пузырьки отходят от поверхности металла, вода будет вновь растворять такие растворимые вещества, как гидроксид натрия (Рис. 1.).

В наилье проявления, ударкового кипения скорость образования пузырьков превышает скорость растворения. В этих условиях начинается концентрирование гидроксидов натрия и также других растворимых твердых веществ и/или выведенных твердых частиц (Рис. 1.3 и Рис. 4.2). Присутствие концентрированного гидроксидов натрия и других коррозионных веществ, вызывающих коррозию, приведет к разрушению тонкой пленки оксидов железа, что вызовет потерю металла.

В условиях полного развития процесса пузырькового кипения формируются устойчивая паровая пленка и/или подушка. Коррозионные вещества концентрируются на краях этой подушки, что вызовет потерю металла по ее периметру. Металл, покрытый подушкой, остается относительно неповрежденным.

2. Отложения. Подобная же ситуация возникает в случае отложения осадков, которые образуются из раствора металлов. Пар, который образуется, отходит термически и физически от осадков, выходит из-под него, оставляя агрессивный остаток, который может глубоко врезаться в поверхность металла (Рис. 4.3).

3. Испарение по краям уровня линии воды. Если уровень воды существует, при ее испарении может происходить концентрирование растворимых веществ, что в результате приведет к коррозии металла по краям уровня воды.



Рис. 4.3 Глубокое «яблоко»-видовое под изолирующими внутренними отложениями (с разрешения Национальной Ассоциации инженеров по Коррозии).

В горизонтальных или наклонных трубах может происходить образование пары параллельных продольных канавок (Рис. 4.4). Если трубы относительно невелики, эти параллельные канавки сойдутся вместе в одну горизонтальную продольную выемку, расположенную в верхней части трубы (Рис. 4.5). В вертикально расположенных трубах скопление жидких агрессивных веществ по краям уровня воды будут вызывать образование выемки по окружности трубы.

Идентификация щелочной коррозии

Если к потенциальной поверхности возможен доступ, щелочная коррозия может быть обнаружена простым визуальным осмотром. Если доступ нет, то могут потребоваться разрушающие методы испытаний, например ультразвуковой метод. Для идентификации точной коррозии может быть также проведено исследование пара с применением водородного анализатора.

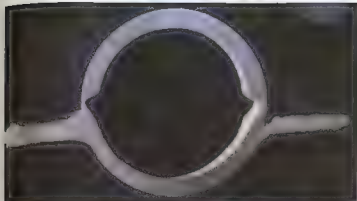
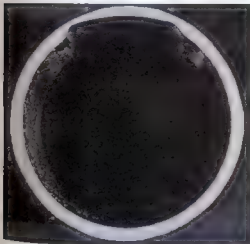


Рис. 4.4. Цепочное описание вектр приращений $\Delta \mathbf{r}$ в уровнях воды (С разностями Нормотальн) для системы координат $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}'$

[illegible]

Предупреждение щелочной коррозии

При следующем описании щелочной коррозии учитываются следующие создающие щелочную среду факторы: механизм, локализация, вероятность возникновения коррозии, меры предотвращения коррозии, возникающей в результате создания щелочной среды.

■ **Уменьшение количества свободного гидроксида натрия.** Это можно сделать, контролируя количество добавляемого щелочного реагента в котлы, применяя меры по предотвращению коррозии в котлах, работающих в щелочной среде.

■ **Предотвращение случайного попадания химических реагентов, обеспечивающих щелочную регенерацию, из деминерализаторов подпиточной воды.**

■ **Предотвращение попадания солей, создающих щелочную среду, в конденсаторы.** В результате многих концентрированных химических соединений, находящихся в котлах, образуются кислоты. Неосторожные действия могут привести к тому, что кислоты попадут в конденсаторы, что приведет к образованию коррозии.

■ **Предотвращение загрязнения пара и конденсата технологическими потоками.**

Приведенные выше меры помогут избежать коррозии котлов, работающих в щелочной среде. При этом следует учитывать следующие факторы: концентрация щелочного реагента, температура, время воздействия, тип металла, тип коррозии. Необходимо также учитывать меры по предотвращению коррозии в котлах, работающих в щелочной среде. При этом следует учитывать следующие факторы: концентрация щелочного реагента, температура, время воздействия, тип металла, тип коррозии. Необходимо также учитывать меры по предотвращению коррозии в котлах, работающих в щелочной среде.

■ **Предотвращение кризиса пленочного кипения.** Это связано с тем, что при кризисе пленочного кипения происходит резкое увеличение температуры поверхности нагрева, что приводит к повреждению поверхности. Для предотвращения кризиса пленочного кипения необходимо контролировать температуру поверхности нагрева, а также использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры.

■ **Предотвращение значительных отложений на стороне воды.** Для предотвращения отложений на стороне воды необходимо использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры, а также использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры. Для предотвращения отложений на стороне воды необходимо использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры, а также использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры.

■ **Предотвращение образования уровня воды в трубах.** Необходимо контролировать уровень воды в трубах, а также использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры, а также использовать специальные материалы, способные выдерживать высокие температуры.

высокие скорости продувки могут стать причиной образования уровня воды в трубах. Это образование может происходить также при чрезмерном сжатии нагрузки, когда давление остается постоянным. В данной ситуации скорость воды в котельных трубах иногда складывается до части скорости, соответствующей полной нагрузке. Если скорость становится достаточно низкой, происходит расслоение паров воды, что создает стабильные или метастабильные уровни воды.

Меры предосторожности

С помощью простого визуального осмотра очень трудно определить локальное воздействие негашеной воды с высоким значением pH от локализованного источника воздействия с низким значением pH. Может потребоваться фирменное металлографическое исследование. При этом значительно помочь может оценка разнородностей под воздействием концентрированных агрессивных веществ, которые могут загрязнять конденсатную воду.

Поскольку продукты коррозии могут вызвать углубления, образованные в результате щелочной коррозии, возможна ошибочная оценка степени и глубины повреждения участка и можно даже не заметить существующие места коррозии. Продувывание подозреваемой зоны с помощью твердого остроугольного инструмента может помочь в этом, однако поскольку продукты коррозии часто имеют очень большую твердость, место коррозии может остаться необнаруженным. Наличие блестящих кристаллических матов и а не обязательно указывает на результаты щелочной коррозии.

Сопутствующие проблемы

См. также Главу 4 («Отложения и вода и пара») и Главу 6 («Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 4.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Задняя стенка энергетического котла
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	6
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1500 фунт/кв дюйм (10,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2,75 дюйма, 70 мм

В течение месяца были выявлены многочисленные признаки щелочной коррозии задних стенок котла с циклонной топкой (Рис. 4.6). Коррозия данного типа уже происходила в прошлом. Котел подвергся кислотной очистке каждые 18-24 месяца. Выходка была обнаружена через год, после очистки кислотной очисткой.



Рис. 4.6 Проявление долговременной коррозии задней стенки котла с давлением 2500 фунт/кв. дюйм

При визуальном осмотре были обнаружены твердые слои черных кристаллических продуктов коррозии, покрывающих место воздействия. Измерение показало 42%ное уменьшение толщины стенки трубы. Микроскопические исследования выявили умеренный перерыв в слое коррозионной выемки. Было установлено, что от воздействия на концентрированные щелочи в этом случае стало пленочное выщелачивание отложения. В качестве причин предполагали также пережог топлива во время пуска котла и избыточный расход питательной воды.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 4.2

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Вход в камеру топочный экран
Ориентация образца:	Вертикальная и наклонная, S-образная
Срок службы, годы:	25
Программа водочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2000 фунт/кв. дюйм (13.8 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3 дюйма (76 мм)
Топливо:	Размолотый уголь
	Установка для производства энергосредств
	Вход в камеру, боковой экран
	Вертикальная и наклонная, S-образная
	25
	Координированная фосфатная
	2000 фунт/кв. дюйм (13.8 МПа)
	Наружный диаметр 3 дюйма (76 мм)
	Размолотый уголь

При визуальном осмотре рядом с закруглением был обнаружен утолщенный участок твердых продуктов коррозии (Рис. 4.7). Прорыва в стенке не произошло, однако перпендикуляр через это место показал существенную потерю металла (Рис. 4.8).

Обнаруженные выемки треугольной подложки, внешние прожилки, застрявшая концентрация которого увеличилась до агрессивного уровня в этой области стабильной плавкой подложки, возможно, на этом провалившемся участке отожженный, выполняющий роль термозащитного слоя. Разрушения данного типа в данной зоне котла прежде не происходили. Котел 4 года назад прошел капитальную очистку, и его эксплуатация проводилась в нормальных условиях. Более тщательный контроль над программой водочистки может быть полезен в предотвращении подобных разрушений в будущем.

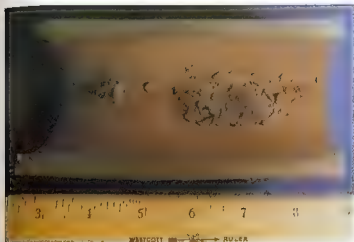


Рис. 4.7 Всплощные твердые оксиды железа на внутренней поверхности

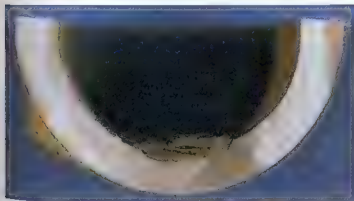


Рис. 4.8 Углубление в металле после жидкого

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 4.3

Промышленность*	Установка для производства эпоксидной смолы
Местоположение образца	Труба фильтрационного слоя
Ориентация образца:	Наклонена на 15°
Программа водочистки	Коррозия с использованием фосфатной кислоты
Давление в барабане	2200 фунтов на дюйм (15,2 МПа)
Характеристики труб	Наружный диаметр: 1,5 дюйма (38 мм)

Эпиксидная смола является полимером, который используется в качестве клея. Она используется для склеивания различных материалов.

На рис. 4.9 показаны результаты внутренней проверки трубы. В результате проверки обнаружены дефекты, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии.

Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии.

Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии. Дефекты имеют форму трещин, которые являются результатом коррозии.

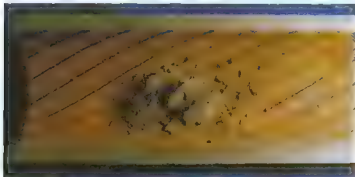


Рис. 4.9 Тройная проверка трубы из твердых оксидов алюминия, подвергнутой коррозии



Рис. 4.11. Изменение температуры в процессе нагрева

Калевка образовалась в результате конвективного течения талых вод в связи с выпадением дна дара и скоплением воды в верхних горизонтальных наклонных участках в буровых отверстиях. В дальнейшем в результате работы коллектора была ориентирована и как основная ориентация течения талых вод дара происходило из-за «размерного» подвода тепла в данной зоне или неправильно по движению потоков охлаждающей воды по трубам. Поэтому можно было бы решить снижение подвода тепла в данной части котла или увеличением скорости воды, проходящей по трубам.

Такие нарушения можно также предотвратить путем использования рифленых труб. Более тщательный контроль качества термомеханической обработки, но и для этого также может быть помощь в использовании результатов данного опыта.



Рис. 4.12 Полосы концентрических дисков в микроскопическом изображении (увеличение $\times 4,5$ раз)



Рис. 4.13 Сечение трубы с канавкой, вырезанной из внутренней части дуги

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 4.5

Промышленность:	Сахарная
Местоположение образца:	Верхняя часть вертикального стояка у входа в паровой коллектор
Ориентация образца:	Наклонная
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	450 фунт/кв. дюйм (3.1 Мпа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)
Топливо:	Мазут № 6

Визуальные обследования выявили наличие продольной адгезии на внутренней поверхности вплоть до верхней части трубы (Рис. 4.13). Скважина открития отсутствовало, однако до 60% длины трубы оказались изъедены коррозией.

По всей верхней части внутренней поверхности произошло отслаивание металла в виде отчетливой полосы (Рис. 4.14), которая сужается и заканчивается вострением у входа трубы в паровой коллектор. В канавке и вокруг нее видны блестящего черного кристаллы магнетита. В целом аналогичному воздействию подверглись шесть рядом расположенных труб.

Канализированное движение пара вдоль верха наклонной секции привело к концентрированию гидроксида натрия. Такое канализование может указывать на локальный или общий чрезмерно высокий отвод тепла. Если соответствующее изменение рабочих параметров не позволяет решить эту проблему, эффективным может стать применение рифленых труб.

Котел с указанными нарушениями находился в непрерывной эксплуатации в течение двух периодов по 100–150 дней в году, в промежутках между ними его эксплуатация прерывалась.



Рис. 4 14 Внутренняя поверхность сел с следы коррозии по металлу

Хелатная коррозия

Участки, наиболее часто подвергающиеся хелатной коррозии

Наиболее часто подвергается хелатной коррозии армоборная. Этому виду коррозии наиболее подвержено оборудование, используемое для отцеивания пара, особенно то, которое предназначено для центробежного отделения пара. Хелатная коррозия может также возникать в линиях распределения питательной воды в экономайзере на концах стальных труб и в югах выводов тепловых потоков в охлаждаемых водой трубах. Могут также корродировать крыльчатки из меди и медных сплавов у насосов подачи питательной воды, если они подвергнутся действию хелатных добавок.

Общие сведения

Концентрированные хелатные добавки могут воздействовать на магнетит в соответствии со следующей реакцией:



Поверхности, подвергшиеся хелатной коррозии, обычно имеют гладкий вид без резко выраженных особенностей. В тех случаях, когда хлоридность движется с достаточной высокой скоростью, поверхности могут иметь пламенный контур с метками в виде «хвостов кометы» и лодкообразные углубления (Рис. 5.1). Эти особенности ориентированы в направлении движения потока. Металлическая поверхность неравномерно покрыта субмикроскопическим матовым или блестящим пленкой черного вещества. Поверхность после хелатной коррозии свободна от отложений, и продукты коррозии так как они уже подверглись воздействию хелата.

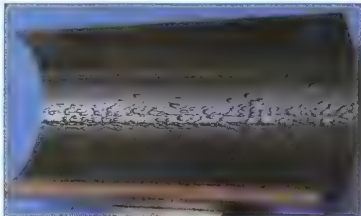


Рис. 5.1 «Хвост кометы» и чашковидные углубления

Иногда, если в чрезмерно больших количествах присутствует кислород, внешний вид металла меняется. Корродировавшая поверхность принимает вид четко выраженных островков целого металла, окруженных гладкими плоскими участками изъеденного металла (Рис. 5.2). Есть сообщения о том, что в ней же хелатных добавок привело к образованию зазубренных шероховатостей, подобных тем, которые образуются при воздействии сильной кислоты.

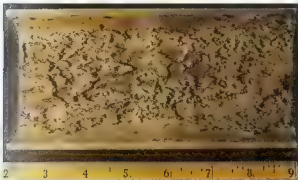


Рис. 5.2 Преобладание катодной коррозии в присутствии избытка этого количества кислорода

Важнейшие условия для возникновения хелатной коррозии

Хелатная коррозия может происходить при различных условиях. Есть соображения, что коррозия происходит при переизбытке хелатных добавок. Однако при рекомендуемых остаточных содержаниях хелата коррозия возможна в зонах, в которых действует механизм его концентрирования. Основным и, возможно, единственным механизмом концентрирования остатка испарение, поэтому хелатная коррозия может происходить там, где происходит кризис пузырькового кипения (Рис. 5.3).

Хелатная коррозия разделительного оборудования в паросборниках, у которых нет поверхностей теплопередачи, явно связана с высокими скоростями движения жидкости. Этот вид коррозии особенно чувствителен к эрозионному действию высокоскоростных потоков жидкости и иногда встречается там, где они существуют, даже в отсутствие теплопередачи. Избыток растворенного кислорода, возможно, приводит к его синергическому действию совместно с избыточными количествами хелатных добавок, вызывая образование изъеденных контуров на поверхности металла.

Идентификация хелатной коррозии

Хелатная коррозия может быть обнаружена визуально, если к поврежденному оборудованию возможен доступ. Когда же доступ очень ограничен, как это имеет место в случае труб, могут быть использованы методы неразрушающих испытаний, например, ультразвуковые.

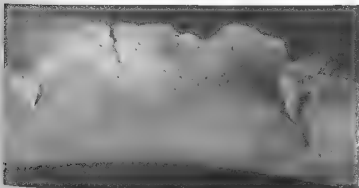


Рис. 5.3 Разрушение трубы из-за сильной эрозии металла из-за хелатной коррозии с разрезом в Национальной Ассоциации Инженеров по Коррозии.

[illegible]

Предупреждение хелатной коррозии

В целом ряде случаев является необходимым привлечение к ответственности должностных лиц, в совершении противоправных действий которых произошло нарушение прав и законных интересов граждан и организаций, принимающих меры.

[illegible]

Меры предосторожности

[illegible]

$$\begin{aligned}
 & \Pi_2 \wedge \Pi_3 \wedge \Pi_4 \wedge \Pi_5 \wedge \Pi_6 \wedge \Pi_7 \wedge \Pi_8 \wedge \Pi_9 \wedge \Pi_{10} \wedge \Pi_{11} \wedge \Pi_{12} \wedge \Pi_{13} \wedge \Pi_{14} \wedge \Pi_{15} \wedge \Pi_{16} \wedge \Pi_{17} \wedge \Pi_{18} \wedge \Pi_{19} \wedge \Pi_{20} \\
 & \wedge \Pi_{21} \wedge \Pi_{22} \wedge \Pi_{23} \wedge \Pi_{24} \wedge \Pi_{25} \wedge \Pi_{26} \wedge \Pi_{27} \wedge \Pi_{28} \wedge \Pi_{29} \wedge \Pi_{30} \wedge \Pi_{31} \wedge \Pi_{32} \wedge \Pi_{33} \wedge \Pi_{34} \wedge \Pi_{35} \wedge \Pi_{36} \wedge \Pi_{37} \wedge \Pi_{38} \wedge \Pi_{39} \wedge \Pi_{40} \\
 & \wedge \Pi_{41} \wedge \Pi_{42} \wedge \Pi_{43} \wedge \Pi_{44} \wedge \Pi_{45} \wedge \Pi_{46} \wedge \Pi_{47} \wedge \Pi_{48} \wedge \Pi_{49} \wedge \Pi_{50} \wedge \Pi_{51} \wedge \Pi_{52} \wedge \Pi_{53} \wedge \Pi_{54} \wedge \Pi_{55} \wedge \Pi_{56} \wedge \Pi_{57} \wedge \Pi_{58} \wedge \Pi_{59} \wedge \Pi_{60} \\
 & \wedge \Pi_{61} \wedge \Pi_{62} \wedge \Pi_{63} \wedge \Pi_{64} \wedge \Pi_{65} \wedge \Pi_{66} \wedge \Pi_{67} \wedge \Pi_{68} \wedge \Pi_{69} \wedge \Pi_{70} \wedge \Pi_{71} \wedge \Pi_{72} \wedge \Pi_{73} \wedge \Pi_{74} \wedge \Pi_{75} \wedge \Pi_{76} \wedge \Pi_{77} \wedge \Pi_{78} \wedge \Pi_{79} \wedge \Pi_{80} \\
 & \wedge \Pi_{81} \wedge \Pi_{82} \wedge \Pi_{83} \wedge \Pi_{84} \wedge \Pi_{85} \wedge \Pi_{86} \wedge \Pi_{87} \wedge \Pi_{88} \wedge \Pi_{89} \wedge \Pi_{90} \wedge \Pi_{91} \wedge \Pi_{92} \wedge \Pi_{93} \wedge \Pi_{94} \wedge \Pi_{95} \wedge \Pi_{96} \wedge \Pi_{97} \wedge \Pi_{98} \wedge \Pi_{99} \wedge \Pi_{100}
 \end{aligned}$$

Влияние хелатных добавок на медные сплавы

Сопутствующие проблемы

См. также: [1] (доп. «К...» и «...» в «...» и «...» (на русском языке и новой очистке)), в Главу 17 («Эрозия»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 5.1

Промышленность:	Металлургическая
Местоположение образца:	Экранные трубы в нижней части коллектора топочного экрана
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	14
Программа водоочистки:	Хелатная
Давление в барабане:	900 фунт/кв. дюйм (6,2 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 2,5 дюйма, 63 мм
Средство обогрева:	Мазут № 6 и различные сбросные газы

Приведены четыре примера коррозии, связанной с турбулентной эрозией. Рис. 5-4 Значительная внутренняя потеря металла из-за эрозии до 9,5 дюйма (242 мм) в каждой из четырех соседних труб. Потери металла из-за турбулентной эрозии были весьма значительными. В зонах серьезных потерь металла в трубах образовались глубокие раковины. В зонах умеренных потерь металла видны отдельные глубокие раковины.

Через несколько месяцев после коррозионных исследований действительно выяснилось, что турбулентная эрозия была основной причиной коррозии в турбулентном процессе из-за эрозии хелатных образцов. Потери металла в зонах турбулентной эрозии в трубах из коллектора. Коррозия снизилась умеренно по мере уменьшения скорости потока и не проявилась в трубах, где установлен минимальный режим потока. Из-за эрозии металла в результате турбулентной эрозии образуются глубокие раковины, что приводит к образованию глубоких раковин в основном из-за турбулентной эрозии.

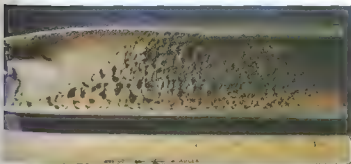


Рис. 5-4 Значительная внутренняя потеря металла из-за турбулентной эрозии

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 5.2

Промышленность:	Металлургическая
Местоположение образца:	Экранная труба
Ориентация образца:	Вертикальный изгиб
Срок службы, годы:	25
Программа водоочистки:	Хелатная
Давление в барабане:	800 фунт/кв. дюйм (5,5 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)
Топливо:	Доменный газ

Значительное разрушение экранной трубы (Рис. 5.3) в данном котле произошло впервые. Происходит разрыв с тонкими краями, а от внутренней поверхности трубы зоры члвтка на жестко подвешенных рычагах рычажных, арцентных и других металлов. Этого М. проструктурные исследования выявили это, срезав не было.

Разрушение произошло на холодной стороне трубы. Изгибная использованная для защиты холодной стороны трубы, по-видимому, была разрушена ударами с руны, выбрасываемой из потока эжекта трубы, мартерсгери для формирования газа, которые достигли сходящего, обратного стороны трубы, что вызвало абразивное действие, которое не было, если бы конденсировался в котле, что было.

На Рис. 5.3 показаны результаты действия комбинации, концентрированного хлората и порошка, со скоростью движения, выходящей из трубы со стороны внутренней поверхности. Углубление стенки трубы, равное остаточной толщине, привнесло, следовательно, нормальную внутреннюю длину, не превысив, следовательно, разрыву утонченной стенки трубы.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 5.3

Промышленность:	Химическая технология
Местоположение образца:	Крыльчатка насоса для подачи питательной воды
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	3
Программа водоочистки:	Хелатная
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 8 дюймов (203 мм)
Материал:	Бронза

Крыльчатка, показанная на Рис. 5.4, была снята с главной системы насоса для подачи питательной воды. Видны обширные зоны обжига насоса. Места потери металла, особенно на краях, не во всех случаях, уровень, и имеет, а также, в некоторых случаях, и в некоторых местах, на стороне, где для В некоторых местах, видны небольшие раковины.



Рис. 5.5 Аспект из коррозии шланга для воды из-за плохой воды

Изучательное исследование разрушения поверхности металлов с помощью микроскопии обнаруживает поддрезы и другие микротрещины, которые являются признаками коррозии. Халатные действия, связанные с разрывом разрывов с металлами, могут привести к повреждению и коррозии, а также к образованию коррозионных продуктов из медных сплавов.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 5.4

Промышленность:	Пивоварение
Местоположение образца:	Концы титановой трубы со стороны паросборника
Ориентация образца:	10–15° от вертикали
Срок службы, годы:	35
Программа водоочистки:	Халатная
Давление в барабане:	485 фунт/кв. дюйм (3,3 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 2,5 дюйма (63 мм)

На Рис. 5.6 показаны два вида титановой трубы, внутренняя поверхность которой имеет разрывы. Разрывы, которые подвержены коррозии, являются результатом коррозии. Несмотря на то, что в течение 35 лет эксплуатации трубы уже прошли программу обработки, они все еще имеют коррозию, которая приводит к образованию коррозии.

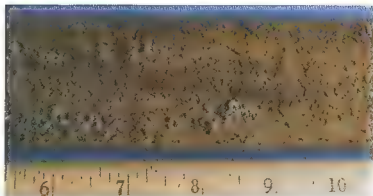


Рис. 5.6 Внутренняя поверхность стальной трубы

Подвергшиеся ее воздействию трубы расположены в конце котла на расстоянии 9 дюймов (229 мм) от пылевого ввода питательной воды парогорелки. Выказано предположение о том, что испытательная вода проходила через узкую 10-дюймовую короткую трубу.

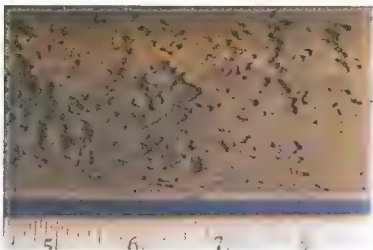


Рис. 5.7 Внутренняя поверхность стальной трубы с очагами коррозии, которая была подвергнута воздействию

По всему краю уровня воды в паросборнике, а также в выверхах отливов на жидкой поверхности, отмечены участки коррозии. Они служат свидетельством того, что в пылящей воде был избыток растворенного кислорода. Снизить его можно путем концентрации кислорода совместно с применением хелатных добавок и при помощи наблюдаемой карреты. На поверхности угляков коррозионного разрушения, результаты потери металла образовались ровные, дугообразные и волнообразные контуры плавления и островки неповрежденного металла (рис. 5.7).

Вся изотермическая поверхность была слегка покрыта окислами и окислами железа. Под влиянием отложения оксидов по всей поверхности возникли небольшие участки коррозии. Слой оксидов, образовавшийся в результате коррозии, не позволял полностью исключить коррозию. Следовательно, она действовала с перерывами, а не постоянно.

Разрушения данного типа можно предотвратить, если использовать уже имеющиеся для растворенного кислорода. Решением проблемы может стать способ, позволяющий устранить коррозийный процесс, а также предотвратить коррозию.

Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период

Участки, наиболее часто подвергающиеся коррозии

Обычно кислотная коррозия, происходящая в период эксплуатации, ограничена водоохлаждаемыми трубами в зонах интенсивных потоков тепла, наклонными или горизонтальными трубами, местами под сильными отложениями и ионами теплопередачи в точках расположения подкладных котлов в сварных швах или рядом с ними, а также рядом с другими устройствами, которые нарушают поток воды.

Общие сведения

Снижение pH во всей массе воды может происходить, хотя и относительно редко, при доступлении в котел некоторых загрязнений. В котлах, которые работают на воде с низкой буферной способностью, может происходить снижение величины pH. Основной массой воды ниже 5, если она загрязнена морской водой, соляной и/или серной кислотой.

Однако в данной главе рассматриваются более вероятные возможности появления условий для локализованных значений pH. Для создания таких условий должны одновременно действовать два обстоятельства. Во-первых, котел должен работать без соблюдения рекомендованных химических рабочих параметров. Это может произойти, если возникнут утечки в конденсаторе при использовании морской воды или воды из системы циркуляции воды, содержащей гравитри. Другим источником загрязнений могут стать попадающие в систему питательной воды химические реагенты для кислородной регенерации из деминерализатора подпиточной воды.

концентрированное закисление твердых веществ и т.п. в результате таких процессов (Рис. 1.3). Непосредственно концентрированных веществ для пассивации коррозии может быть много только потому, что окислительная среда вызывает разрушение металла.

В условиях повышенной влажности и повышенной температуры конденсат может быть причиной коррозии под слоем. В частности, в условиях коррозии могут возникнуть коррозионные процессы в местах, где ранее металл находился по его параметрам. Внутренняя часть металла остается относительно неповрежденной.

2.Отложения. Понятие жесткая вода возникает в результате взаимодействия между металлом и основными массами воды. На поверхности образуются под таким воздействием отложения, которые могут быть обнаружены при коррозионных процессах, которые могут возникнуть в результате коррозии. Рис. 4.3).

3.Испарение по краю уровня воды. Если существует возможность того, что может возникнуть в результате агрессивных веществ, в результате агрессивных веществ, которые могут возникнуть в результате агрессивных веществ. В горизонтальных и вертикальных трубах может возникнуть образование отложений, которые могут возникнуть в результате агрессивных веществ. Если труба имеет возможность коррозии, то она может быть повреждена. В трубах, которые могут быть повреждены, могут возникнуть коррозионные процессы по краю уровня воды, которые могут возникнуть в результате агрессивных веществ.

Идентификация коррозии при низких pH

Несмотря на то, что осмотр будет достаточно эффективным, если будет обнаружена коррозия, то это будет достаточно эффективным. В результате этого могут быть обнаружены коррозионные процессы, которые могут возникнуть в результате агрессивных веществ. Для обнаружения коррозии при низких значениях pH можно использовать различные методы, которые могут быть использованы для обнаружения коррозии.

Предупреждение коррозии при низких значениях pH

Три основных метода предупреждения коррозии при низких значениях pH: 1. Предотвращение случайного выброса химических реагентов, применяемых для кислотной регенерации, из деминерализатора подпиточной воды. 2. Предотвращение просачивания солей, образующих кислоту, например хлоридов кальция и магния, в конденсаторы. 3. Предотвращение просачивания солей, образующих кислоту, например хлоридов кальция и магния, в конденсаторы.

■ Предотвращение случайного выброса химических реагентов, применяемых для кислотной регенерации, из деминерализатора подпиточной воды.

■ Предотвращение просачивания солей, образующих кислоту, например хлоридов кальция и магния, в конденсаторы. В частности, для предотвращения просачивания солей, образующих кислоту, необходимо использовать различные методы, которые могут быть использованы для предотвращения просачивания солей, образующих кислоту.

те, повышенные нагрузки в количестве весов нескольких частей на модульном может оказаться достаточным, чтобы вызвать локальную коррозию.

■ Предотвращение загрязнения пара и конденсата технологическими потоками.

Указанные меры смогут устранить коррозию, вызванную присутствием свободной кислоты и ионов, которые создают кислотную среду, однако в большинстве случаев мерой предотвращения коррозии при понижении pH остается предотвращение локального концентрирования. Осуществленные данные меры связаны с наибольшей трудностью. Существуют следующие методы предотвращения локального концентрирования:

■ **Предотвращение пузырькового кипения.** Это обычно требует исклечения мест перегрева, что достигается правильным регулированием рабочих параметров котла. Места перегрева образуются в результате чрезмерного перегрева или недожога топлива, ошибок в регулировке горелок, перехода на топливо другого вида, каньирования при движении газов и чрезмерной продувки.

■ **Предотвращение избыточных отложений на стороне воды.** Можно проводить периодический отбор образцов трубок (обычно ежеквартально) для измерения относительной толщины и количества отложений, образующихся в трубах. Практика отбора образцов трубок издается в стандарте ASTM D887-83. Могут оказать помощь рекомендации изготовителя котлов, касающиеся процессов кислотной очистки.

■ **Предотвращение образования уровня воды в трубах.** Наклонные и горизонтальные трубы подвержены образованию уровня воды. К их появлению в трубах могут привести работа котла при чрезвычайно малом запорном уровне и/или чрезмерно высокие скорости продувки. Гравитационный уровень воды может также появиться при чрезмерном сжатии груза, когда в него не остается постоянного. В этой ситуации скорость воды в котельных трубах снизится до части скорости при полной нагрузке. Если скорость воды становится достаточно низкой, начинаются расслоения пар-воды, что создает стабильные или метастабильные уровни воды.

Меры предосторожности

Опытный визуальный осмотр недостаточен, чтобы оценить локальную коррозию при низком уровне pH от коррозии при высоких значениях pH. Определить различия между двумя данными методами коррозии может быть труднее при применении классических методов металлогрифического исследования. При определении различия может помочь оценка природы концентрирующихся коррозионных веществ, которые могут раздражать котловую воду.

Поскольку продукты коррозии могут застрять в емкостях, образующихся в результате коррозии при низком уровне pH, можно использовать следующие меры предосторожности: проводить регулярную очистку и тщательно обрабатывать место коррозии. Промывать в течение времени, когда с помо-

дью твердого острого инструмента может помочь в этом определении. Однако, поскольку продукты коррозии часто имеют высокую твердость, место коррозии может остаться не обнаруженным.

Сопутствующие проблемы

См. также Главу 4 («Щелочная коррозия») и Главу 14 («Повреждения под действием водорода»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 6.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Боковой экран
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	35
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2000 фунт/кв. дюйм (13.8 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)

Многочисленные места коррозии вида, представленного на Рис. 6.1 были получены в результате осуществления широкой программы замены труб. Основные замены были проведены в одном из боковых экранов котла. Коррозия данного вида была постоянной проблемой, но за последнее время ее частота увеличилась. Котел эксплуатировался с пиковыми нагрузками.

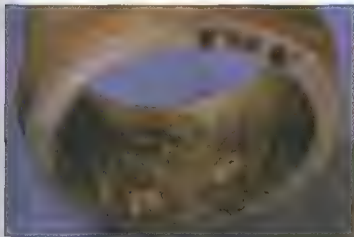


Рис. 6.1 Ряд трубчатых экранов в результате коррозии в месте пиковых нагрузок



Рис. 6.2 Глубокое повреждение внутренней поверхности (увеличено в 1,5 раз)

На Рис. 6.2 видна степень коррозионного выедания и его внешние признаки. Валики, заполнена толстым слоем твердых оксидов железа и элементарной меди. Основные изъеденные места оказались в районе отложения меди возле окружных сварных швов.

Анализ трещинок коррозии с внутренней поверхности в основном исключил присутствие значительного количества хлоридов.

Высокий процент случаев коррозии в местах непосредственно после окружных сварных швов, объясняется тем, что основными причинами возникновения участка конденсации коррозионных веществ стало прерывание потока воды, выходящее сварным швом.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 6.2

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Боковой экран
Ориентация образца:	Слегка наклонная
Срок службы, годы:	26
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1900 фунт/кв. дюйм (13.1 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3,25 дюйма (83 мм)

На Рис. 6.3 и 6.4 показана модель разрушения, которое произошло в отдельной зоне боковой части металла вдоль внутренней поверхности рубки. Окружающие участки внутренней поверхности не были разрушены и оставались достаточно ровными. Микроструктурные исследования выявили в стенках трубы две зоны коррозии: обширные повреждения под действием водорода.



Рис. 6.3 Разрушение металла после коррозии в течение 4 месяцев при $\text{pH} = 10$

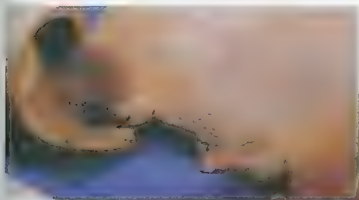


Рис. 6.4 Потери металла в начале разрушения

Внешний вид и микроструктурные признаки поврежденного участка соответствует картине коррозионного повреждения при низких значениях pH. Водородные повреждения, которые ассоциируют с низкими pH показывают, что коррозия происходила в процессе эксплуатации котла.

Концентрирование коррозии может происходить при низких значениях pH может происходить под отложениями, отслоившимися от внутренней поверхности во время разрушения. Возможно также, что концентрирование происходило в результате присутствия паров и подушки, образовавшейся в процессе конденсационного кипения.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 6.3

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Топочный экран
Ориентация образца:	наклонная, выступающий свод
Срок службы, годы:	10
Программа водоочистки:	Всесторонняя борьба с загрязнениями
Давление в барабане:	2700 фунт кв. дюйм (18,6 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)

На Рис. 6.5 показана одна из многих труб, которые подверглись эллиптической жесткой коррозии. Вдоль верха (гребня) каждой из труб расположены канавки. Конечность с вновь сходящейся канавкой, заметный на Рис. 6.5, показывает точку, в которой наклонная часть труб перешла в вертикальную. Ниже данной точки потери металла обнаружены не были.

Корродировавшие участки покрыты черными порошкообразными отложениями (Рис. 6.6). Эти отложения покрывали и второй слой светло-окрашенного вещества, которое находилось непосредственно на поверхности металла. Данное вещество присутствовало лишь на участках, где произошла коррозия. С обеих сторон канавки гладкую внутреннюю поверхность покрывал темный защитный слой металла. Контур корродировавшей поверхности после удаления отложений и вещества со светлой окраской показаны на Рис. 6.7).

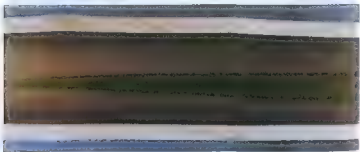


Рис. 6.5 Схождение краев канавки



Рис. 6.6 Внеш. вид вод отстойной, покрытой водой кляксы



Рис. 6.7 Контуры языков после ударами отстойной с разрывом в Института Эмметт Жермет и Мостер Исследователь Р.

Микроструктурный анализ показал, что стенки трубы с казавкой подверглись умеренному террису. Анализ ядовитых, токсичных по воздействию коррозии по верхнему, позволял установить, что светлоразбавленное вещество на поверхности металла имело высокую степень чистоты и состояло из железа и фосфора. Исследования этого материала методом дифракции рентгеновских лучей показали, что это фосфат железа и двойной фосфат натрия и железа.

После транзитного расхода воды и пара в верхнем и нижнем концах труб установились относительно слабые паровые каналы. При этом образовались агрессивные вещества, послужившие причиной образования растворенных твердых веществ в результате испарения воды, преследующего в таком случае. Тщательный химический анализ позволил установить, что фосфат железа и двойной фосфат натрия и железа были следствием коррозии на корродировавшем металле.

Такую коррозию можно было бы считать в целом ядовитым явлением, однако и микроструктурные контуры корродировавших поверхностей и отсутствие от него окисла железа или кристаллического материала, и специфический химический состав воды и хотя в данном случае заставляют предполагать наличие коррозии под действием слабой кислоты, содержащей фосфор.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 6.4

Промышленность:	Химическая технология
Местоположение образца:	Экономайзер
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	7
Программа водоочистки:	Хелатная
Давление в барабане:	155 фунт/кв. дюйм (1.1 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 2.38 дюйма (60 мм)

Коррозия была постоянной проблемой при эксплуатации экономайзера этого типа, работавшего в этом. Повреждения возникали только в начале обремененного участка на горячем конце экономайзера (Рис. 6.8). Потоки тепла здесь были на 40% превышали проектные значения.

Под действием коррозии образовались большие эрозивные углубления по крыше гофрированным неравномерным слоем твердых темных осадков железа. Микроструктурные исследования оксидов железа, покрывавших эту поверхность, выявили сложную структуру, типичную для коррозии при низких значениях pH.

Недугирыковое явление в этом же экономайзере выявлено примерно в 1960-х годах. Потоками тепла было установлено для алюминирования агрессивных веществ, способствующих снижению pH. Источники сплавов, содержащих кислотную среду, были установлены, однако, возможно, что произошло в результате просачивания хлорида натрия при регенерации умягчителя воды.



Рис. 6.8 Истощенный участок вдоль внутренней поверхности, захватывающий рёбра

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 6.5

Промышленность:	Химическая технология
Местоположение образца:	Труба из печи пиролиза на этилен
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	Не известен
Программа водоочистки:	Добавки против биологического обрастания
Давление в барабане:	175 фунтов на дюйм (12 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 4,5 дюйма (114 мм)

Сильное разрушение, показанное на Рис. 6.9 появилось в нижней части входа первой трубы в зону конденсационной печи. По трубам проходили пары этилена в соотношении 1:3.

Разрушение металла, показанное на Рис. 6.10, происходило на внутренней поверхности трубы и привело к появлению сильного стеснения. Коррозия вызвала образование мусора на поверхности, имеющего типичный закругленный контур.

Корродировавший участок окружали темные отложения, которые при удалении показывали низкий pH. Анализ отложений и продуктов коррозии позволил определить высокое содержание фтора и железа. Возможно, на горячей стороне трубы, происходило накопление фторсодержащих веществ с кислотной реакцией, приводящее к разрушению поверхности трубы.

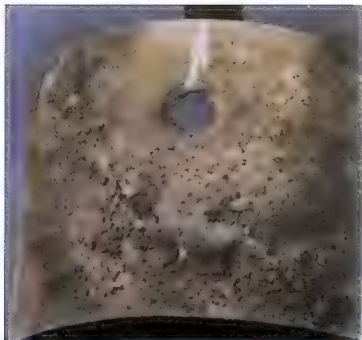


Рис. 6.9 Сквозное отверстие, возникшее в результате коррозии со стороны внутренней поверхности.

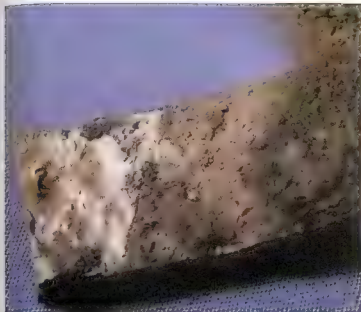


Рис. 6.10. Восточная часть разрушенного склона в урочище «Конькозастава»

Коррозия при низких значениях pH в процессе кислотной очистки

Места, наиболее часто подвергающиеся коррозии

Коррозия внутренних поверхностей котла, которая является результатом влияния низких pH, может происходить в процессе кислотной очистки, если правила процедуры очистки не были соблюдены. В первую очередь коррозия происходит на концах труб внутри грязесборников и паросборников. Местом ее действия могут также стать крышки люков для руч. люк. лапы и сварные швы на корпусе. Серьезному воздействию могут подвергаться теплопередающие поверхности (Рис. 7.1) и сварные соединения (Рис. 7.2). Изолированные места внутри трещин, за подкладными кольцами и под оставшимися отложениями могут помешать полной нейтрализации кислоты, применявшейся для очистки. После того как котел будет введен в эксплуатацию, это приведет к серьезной локальной коррозии металла. Как правило, коррозия может происходить на любой поверхности, которая подвергалась контакту с кислотой (Рис. 7.3).

Общие сведения

Коррозия сильной кислотой любой металлической поверхности котла обычно определяется безошибочно. На поверхности в зависимости от серьезности коррозии появляются шероховатости или зазубрины (Рис. 7.1 и 7.4). Более тщательное исследование может выявить отдельные раковины, часто с подрезами. В трубах котла раковины часто оказываются ориентированными вдоль стенки трубы (Рис. 7.1).

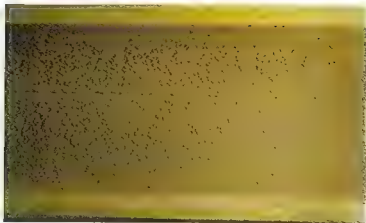


Рис. 7.1 Кислотная коррозия на внутренней поверхности закрытой трубы (с разрешения И.И. Стелуца, автором чертёжов последователей)

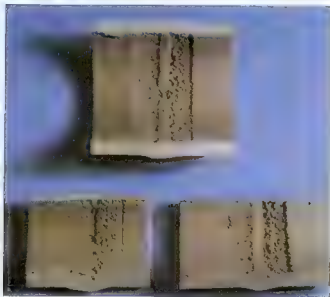


Рис. 7.2 Кислотная коррозия в сварном шве

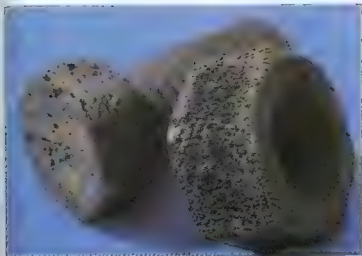


Рис. 7.3 Кислотная коррозия крепежного оборудования

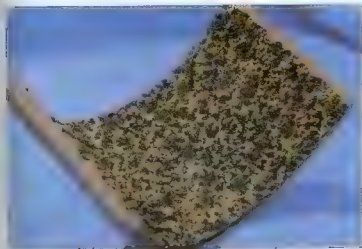
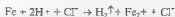


Рис 7.4 Зазубрины и сколы от рунда, атак с жесткой кислотной коррозией с разделения Института Электроэнергетическое исследований

Коррозия стали по сравнению с кислотой естественно более активна термодинамической стабильности стали в кислых средах. Следовательно, коррозия протекает самопроизвольно в бо́льшей части кислот. В воде коррозионные реакции железа в присутствии водорода из раствора. Это означает, что жесть окисляется, а ионы железа переходят в раствор. Подходящие реакции восстановления водорода на поверхности металла образуются пузырьки водорода.



Для наблюдения коррозионного процесса в растворе кислоты не берем для очистки котлов, доводя температуру коррозии.

Важнейшие условия, способствующие кислотной коррозии

Неуправляемая кислотная коррозия во время очистки котла обычно происходит в результате непредвиденных и непреднамеренных отклонений от стандартных условий или стандартов практики. Существует возможность отклонения различных видов, в том числе такие события, как термическое разложение ингибитора, неправильный выбор средства для очистки из его концентрации, длительное контакт с ним, слишком высокие температуры при контакте, а также неопытная нейтрализация.

Идентификация кислотной коррозии

Простого визуального осмотра обычно бывает недостаточно, чтобы определить наличие кислотной коррозии. Последствия коррозии можно наблюдать в незначительных количествах труб и грязесборниках и паросборниках, на краях тонких или гнутых стальных листов, на концах болтов. Не все виды коррозии могут подвергаться разрушению кислотой в одинаковой степени. Металлы под напряжением, сварные соединения, трещины и другие скрытые дефекты могут страдать сильнее. Оценка повреждений в недоступных для визуального обследования местах может потребовать применения методов неразрушающих испытаний (например, ультразвукового или ультразвукового излучения) труб и

Предупреждение кислотной коррозии

Борьба с коррозией котельного оборудования, связанная с ингибиторными свойствами pH в процессе кислотной очистки, требует тщательного регулирования всей процедуры очистки. Ниже приводятся примеры различных рабочих параметров, которые подлежат контролю и защите при выполнении процедуры.

Определение массы отложения. Выбор тескопических труб для измерения массы отложения поможет определить нужную концентрацию кислоты, для того чтобы обработать и обработать котел с помощью кислоты. Необходимо для очистки котла.

Анализ отложения. Анализы отложений помогут определить соответствующие средства очистки и последовательность, в которой эти средства следует использовать.

Температура очищающего раствора. И температура раствора, и температура металла должны быть значительно ниже точки термического разложения ингибитора.

Контроль. Через периодические интервалы времени необходим контроль над содержанием железа и меди, а также над крепостью очищающего раствора во все время очистки котла. После кислотной обработки котла необходим контроль над химическими свойствами нейтрализатора.

Визуальный осмотр. После проведения очистки необходима проверка труб, грязесборников и паросборников.

Меры предосторожности

За коррозией под действием сильной кислоты можно принять питтинг (сильную кислородную точечную коррозию) и кавитационные повреждения. В общем случае правильно определить различия между ними можно, проверив, все ли поверхности пострадали от действия сильной кислоты. Кислородная коррозия имеет тенденцию воздействовать на специфические зоны, например на экранийсер, возвратные колена в пароперегревателе или, возможно, на границу уровня воды в паросборнике. Повреждения от кавитации также имеют тенденцию проявляться в определенных местах, причем чаще всего на крыльчатке насосов. Кислотную коррозию могут напоминать определенные виды хлоридной коррозии, но в данном случае они характерны для внутренних деталей паросборника.

Сопутствующие проблемы

См. также Главу 5 («Хлоридная коррозия»), Главу 8 («Кислородная коррозия») и Главу 18 («Кавитация»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Экранные трубы
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	30
Программа водоочистки:	Фосфатная, в труднодоступных местах гидроксидная
Давление в барабане:	875 фунт/кв. дюйм (6,0 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 2 5 дюйма (63 мм)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

После кислотной очистки котла были обнаружены повреждения, показанные на Рис. 7.5 и 7.6. Тщательный визуальный осмотр этих труб выявил очень тонкие «спрявленные трещины», проходящие вдоль их внутренней поверхности. Трещины, которые, казалось, совпадали с рядом слабых следов от оправки, были глубже на том конце труб, который входил в паросборник. Показатели на Рис. 7.6 трубы также имели глубокую поперечную трещину в том месте, где она входит в сборник. Исследование поперечных сечений поверхности трубы показало катаных неровности под резкой. Отсутствие обычно присутствующих оксидов железа.

Коррозия под действием сильной минеральной кислоты приводит к формированию и углублению следов от оправки, проходящих по окружности трубы, а также к развитию глубоких трещин вдоль конца труб, где они развальцованы для входа в паросборник. Формирование и углубление следов от оправки связано также с остаточными напряжениями в металле в этих местах как следствие процесса изготовления труб. Наличие глубоких трещин различной ориентации на концах, входящих в паросборник, связано с остаточными напряжениями, возникшими в результате трубопрокатного процесса. Для сильной минеральной кислоты характерна более интенсивная коррозия на участках металла с остаточным напряжением, чем в зонах без напряжений, что вызвано высоким содержанием энергии остаточных напряжений, сохраненной в металле.

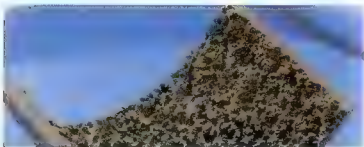


Рис. 7.5 Продольные трещины вблизи развальцовки с конца

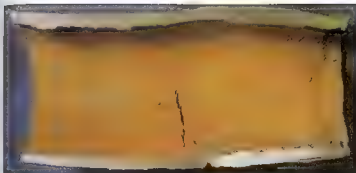


Рис 7.6 Поперечные трещины вблизи рихтованного конца

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.2

Промышленность:	Установка для производства энергоносителей
Местоположение образца:	Экранные трубы
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	15
Программа водоочистки:	Соответствующий контроль
Давление в барабане:	1960 фунт на дюйм (13.5 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 2.5 дюйма (63 мм)
Очищающий раствор:	Лимонная кислота

Коррозия металлов с их поверхностей под действием органических кислот существенно отличается от коррозии, которая вызвана сильными минеральными кислотами. При эквивалентных воздействиях органические кислоты обычно вызывают меньшую коррозию. Кроме того, структура поверхности металлов, подвергшихся избыточному контакту с органическими кислотами, обычно отличается меньшей шероховатостью и меньшими подрезами, чем в случае коррозии в сильных минеральных кислотах.

Коррозия под действием лимонной кислоты (образец на Рис. 7.7) визуально поверхность кажется протравленной и имеет блестящий металлический внешний вид. При более тщательном рассмотрении можно выявить островки некорродировавшего металла неправильной формы, которые в данном случае возвышаются над окружающей корродировавшей поверхностью на 0,005 дюйма (0.12 мм). По существу вся внутренняя поверхность (и на горячей, и на холодной стороне) повреждена одинаково. Данное состояние поверхности соответствует коррозии в процессе кислотной очистки.

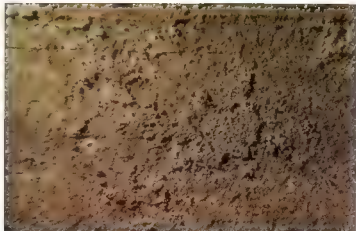


Рис. 7.7 Внутренний вид коррозии минеральной кислотой (увеличение в 7,5 раз)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.3

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Экранная труба
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	30
Программа водоочистки:	Разносторонний контроль
Давление в барабане:	1500 фунт/кв дюйм (10.3 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

На Рис. 7.2 и 7.8 показана картина коррозии внутренних поверхностей экранных труб расположенных напротив арочных кольцевых сварных швов. Профиль поперечного сечения внутренней поверхности корродировавших участков не мог бы обнаружить подрезы и язвы. Остаточные напряжения в результате сварочных работ способствуют преимущественной коррозии именно этих участков при контакте с сильной кислотой.

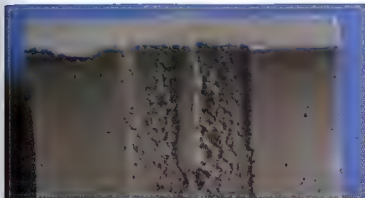


Рис. 7.8 Кислотная коррозия у сварных швов

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.4

Промышленность:	Установка для производства энергоносителей
Местоположение образца:	Бомбовые экранные трубы
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	30
Программа водоочистки:	Разносторонний контроль
Давление в барабане:	1500 фунт/кв. дюйм (10.3 МПа)
Характеристики труб:	Внутренний диаметр 3 дюйма (76 мм)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

Ряд довольно глубоких перекрывающихся друг друга раковин был обнаружен в кольцевой части внутренней поверхности напротив кольцевых сварных швов, расположенных на наружной поверхности труб (Рис. 7.9). Другие коррозионные участки были замечены и в тех местах, где сварных швов не было (Рис. 7.10). Коррозия на данных участках была наиболее явной вдоль трубного шва.

Отложения, покрывавшие поврежденные участки, показали, что коррозия произошла в процессе, возможно во время носимой кислотной очистки котла.

Преимущественную коррозию у сварных швов можно объяснить остаточным напряжением, связанным с растягивающими, сжимающими и трещинами, существующими в зоне сварного шва. Преимущественную коррозию трубного шва можно объяснить также наличием трещины или трещины, возникшей из-за неполого тровара трубного шва.

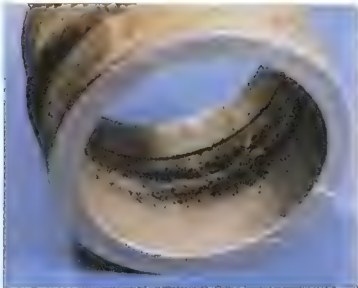


Рис. 7.9 Кислотная коррозия у сварного шва

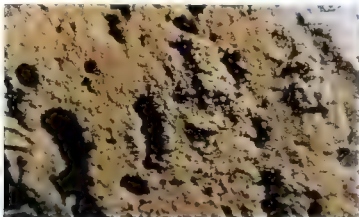


Рис. 7.10 Кислотная коррозия вдоль внутренней поверхности (узеловые в 7.5 год)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.5

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	нижняя плита
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	16
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	600 фунт/кв. дюйм (4.13 МПа)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

Визуальный осмотр поверхностей нижней плиты выявил мелкие пятнышки неравномерного разрушения металла на верхних и нижних поверхностях. Места разрушения металла в основном были расположены параллельными рядами. На Рис. 7.11 приведен типичный вид участков с разрушенным металлом, причем ось риса скрещивается под тонким слоем оксида железа.

На данном примере можно видеть, как важны допытывательные наблюдения при определении коррозии при низком рН в качестве причины разрушения металла. На Рис. 7.11 отсутствует классический зубчатый профиль поверхности с подрезами отчетливо ассоциирующийся с коррозией, вызванной действием сильной кислоты. И все-таки важным подтверждением правильности диагноза служат следующие допытывательные наблюдения:

- Расположение участков коррозии параллельными рядами, ориентированными в направлении протекания статистической плечи быстрой течи.
- Преимущественная коррозия сварных швов и концов труб в коррозионно-активной среде.
- Зубчатые, скарлатановидные поперечные профили поверхностей нижних плит и труб, разрушаемые при металлографическом исследовании.

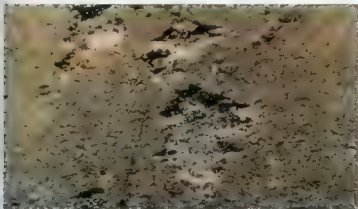


Рис. 7.11 Разрушение металла из-за действия коррозионной среды (кислота) при давлении 4.13 МПа.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.6

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экранная труба
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	13
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1250 фунтов/кв. дюйм (8,6 МПа)
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2,25 дюйма (57 мм)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

Комбинация дефектов коalesceвых сварных швов и коррозии в зоне сварки скрининга минеральной кислотой при проведении ряда операций кислотной очистки (более пяти за 13 лет) привела к образованию в трубах сквозных отверстий. Эти отверстия в местах сварки вызвали вторичные разрушения в соседних трубах в результате эрозии выбросами пара, происходившими с высокой скоростью.

Более тщательное исследование внутренних поверхностей сварных швов позволило обнаружить чрезвычайно локализованные зоны коррозии, которая способствовала образованию контуров поверхности с зазубринами и подрезами, типичных для коррозии сильной минеральной кислотой (Рис. 7.12).

Открытые трещины, поры и раковины в зонах сварки — это как раз те места, в которых кислота может сохраниться при проведении операций нейтрализации, следующей за кислотной очисткой. Кислотная коррозия может расширять и углублять подобные участки, что приведет в конечном итоге к образованию сквозных отверстий в стенке трубы в том месте, где расположен сварной шов.



Рис. 7.12 Коррозия в внутренней поверхности сварного шва под действием кислоты (время — 7,5 раз)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 7.7

Промышленность:	Текстильная
Местоположение образца:	Жаровая труба
Ориентация образца:	Горизонтальная
Программа водоочистки:	Фосфатная
Давление в барабане:	100 фунт кв. дюйм (0.69 МПа)
Характеристики трубы:	наружный диаметр 2.5 дюйма (63 мм)
Очищающий раствор:	Минеральная кислота

Сы расчеты после аварии, если бы не очисткой котла, позволило обнаружить только протекающие трубы. При обследовании были обнаружены многочисленные участки точечной коррозии (Рис. 7.13 и 7.14). Наружная поверхность была покрыта пленкой коричневого оксида железа.

Точечная коррозия могла частично произойти в результате чрезвычайно высоких уровней содержания кислорода в котловой воде во время перерыва в работе котла. Однако окисление труб не было неосторожные меры контроля над котлом с сильной минеральной кислотой и при осе кислотной очистки. Образовалась видимая более темные участки точечной коррозии, более разрыхленные участки были тонких, рыхлых трещин, характерных для коррозии сильной кислотой (Рис. 7.13).

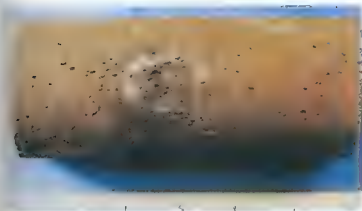


Рис. 7.13 Кислотная коррозия жаровых труб после аварии в жаровой трубе

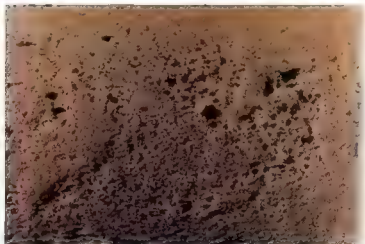


Рис. 7.14 Внутренняя поверхность, зона из рис. 7.13, грубая плесень

Кислородная коррозия

Места, наиболее чувствительные к кислородной коррозии

Кислородная коррозия в работающих котлах происходит сравнительно редко, однако для простаивающих котлов она часто становится проблемой. Данный вид коррозии можно наблюдать на любом участке котельной системы, однако наиболее частым местом ее разрушающего действия становятся трубы пароперегревателя. Чувствительны к ней также трубы промежуточного пароперегревателя, особенно места накопления влаги в коленах и провесах труб.

У работающего котла повреждения под действием кислородной коррозии происходят в первую очередь в экономайзере и подогревателе питательной воды. В присутствии очень большого избытка кислорода повреждения могут происходить и в других зонах котла — например, на внутренней поверхности паросборника по границе уровня воды и в оборудовании для отделения пара. Во всех случаях повреждения могут оказаться значительными даже после не очень длительного периода контакта с кислородом.

Общие сведения

Одной из наиболее вероятных причин кислородной коррозии считают контакт металла котла с растворенным в воде кислородом. Поскольку наиболее естественными и самыми распространенными соединениями железа являются его оксиды, неизбежно самопроизвольное превращение стали в эту форму, если условия для такого превращения будут термодинамически благоприятны. Обычно условия становятся благоприятными, если сталь, не покрытая защитной пленкой оксида железа (магнетитом), подвергается контакту

с водой, которая содержит кислород. В этом случае происходит следующая реакция



Эта реакция основа широко применяющейся на практике механической и химической деаэрации воды, которая стала нормой для надежных программ водообработки. Такая практика обычно обеспечивает определенный успех. Действительно, кислородная коррозия в котлах происходит в основном в период их простоя.

Например, влага, содержащаяся на стенках труб неработающего пароперегревателя, будет растворять атмосферный кислород. В защитном слое магнетита под действием сжимающих напряжений в результате охлаждения пароперегревателя до температуры окружающей среды появляются трещины. На участках с трещинами создаются анодные участки, в которых содержащая кислород влага может реагировать с непокрытым и незащищенным металлом. Результатом могут стать глубокие, отчетливо выраженные, почти полусферические раковины (Рис. 8.1), которые могут быть покрыты слоем продуктов коррозии (Рис. 8.2). Часто точечная коррозия может возникать на донных обратных подвесных секциях пароперегревателя, где может скапливаться влага (Рис. 8.3).

Кроме образования сквозных отверстий в стенках труб, кислородная коррозия опасна и другими ее проявлениями. Кислородные раковины могут действовать как места концентрации напряжений, что приводит к развитию коррозионно-усталостных трещин, трещин в результате щелочной коррозии и других разрушений, связанных с напряжениями.

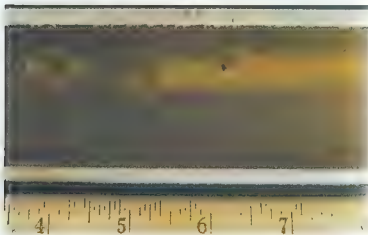


Рис. 8.1 Кислородные раковины в секции труб пароперегревателя (с разрешения Института коррозионно-исследовательской



Рис. 8.2 Слой вытаявшего, деформирующего участка раковин

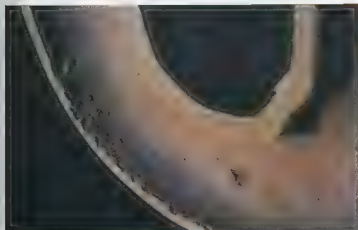


Рис. 8.3 Кислотный раковинный слой в слое парогревателя с раковинами и кислотной деформацией в слое металла

Важнейшие условия, способствующие кислородной коррозии

Началу кислородной коррозии и ее развитию способствуют три важнейшие условия: наличие влаги или воды, присутствие растворенного кислорода и незащищенная поверхность металла.

Коррозионная способность воды возрастает с повышением ее температуры и содержания растворенных веществ и с уменьшением значения pH. Ее агрессивность в целом с увеличением содержания кислорода увеличивается.

Образование незащищенной металлической поверхности происходит в трех условиях:

- Поверхность металла остается ничем не покрытой, например после кислотной очистки.
- Поверхность металла покрыта защитным слоем в малой степени. Слой оксида железа, в частности гематита (Fe_2O_3 , красного цвета).
- Поверхность металла покрыта защитным слоем оксида железа, например магнетита (Fe_3O_4 , черного цвета), однако в покрытии имеются просветы или трещины.

Разлом и трещинообразование магнетита происходит из-за механических и термических напряжений, возникающих при нормальной работе котла. Эти напряжения растут (и, следовательно, становятся более опасными), в период пуска котла, при его остановке и при резких колебаниях нагрузки. При нормальной работе котла существующие условия благоприятствуют быстрой ликвидации или разрывов в защитном слое магнетита. Однако в присутствии избыточного количества кислорода (при работе котла или во время перерывов в работе) возможен зарастания трещин в магнетите произвольным образом, и тогда начинается коррозия.

Идентификация кислородной коррозии

Для этого достаточно провести визуальный осмотр, если к коррозионно-поврежденным поверхностям есть доступ. Если они не доступны для осмотра, могут потребоваться неразрушающие методы испытаний, в частности ультразвуковой метод.

Предупреждение кислородной коррозии

Кислородную коррозию можно предупредить, если устранить три важнейших фактора: присутствие влаги или воды, присутствие кислорода и недостаточно защищенную поверхность металла.

Работающий котел

В работающем котле все-таки присутствует вода. Кроме того, защитное магнетитовое покрытие находится в состоянии непрерывного повреждения и восстановления. В любой момент времени в магнетите могут присутствовать разрывы и трещины, даже при очень небольшом, но все же присутствии поверхности, на которой они образуются. Следовательно, поскольку в наличии и вода и участки для коррозии, подавление кислородной коррозии достигается значительным уменьшением уровня содержания растворенного кислорода.

Возможными причинами избыточного содержания растворенного кислорода могут быть, например, неисправный деаэрактор, неправильная загрузка химических поглотителей кислорода или просачивание в воду воздуха (см. в данной главе раздел «Загазованный «Источники попадания воздуха»). Рекомендован непрерывный контроль уровня содержания кислорода на входе в экономайзер, особенно при пуске и при малых нагрузках.

Простой котла в состоянии заполнения водой

Для простаивающего котла, когда он заполнен водой, в отношении кислородной коррозии действительны все те условия, которые существуют для работающего котла. Поэтому здесь следует применять аналогичный метод профилактики: снижение содержания кислорода до очень низких уровней и постоянный контроль для предупреждения их повышения. В целом эта процедура требует максимально возможного заполнения котла достаточно высокого содержания химических поглотителей кислорода и поддержания тщательно отрегулированных значений pH, а также периодического включения циркуляции воды.

Простой котла в сухом состоянии

Успешной защиты простаивающего котла, когда он находится в сухом состоянии, достигают непрерывным удалением влаги и/или кислорода. В процедуру защиты котла в сухом состоянии можно включить применение осушителей и азотной подушки или непрерывной циркуляции осушенного воздуха (с относительной влажностью менее 30%).

Котел после химической очистки

Защита котла после кислотной очистки достигается созданием на поверхности металла защитного покрытия из оксидов железа. Для этого обычно проводят тщательную промывку поверхности с последующей отпаркой. На стадии отпарки - пассивации можно использовать раствор карбоната натрия или других щелочных веществ.

Меры предосторожности

Продукты коррозии, имеющие вид мелких бугорков, которые часто покрывают участки с раковинами, иногда ошибочно принимают за обычные отложения. Правильная идентификация данного бугристого отложения может быть достигнута, если помнить следующее:

- Бугристое и язвистое должно покрывать корродировавшие участки. Под действием достаточно большой скорости воды бугорок может стать продолговатым в направлении движения потока.
- Бугорок сильно структурирован и обычно состоит из твердой хрупкой внешней оболочки красноватых продуктов коррозии, внутри которой находится ядро из мягких, объемистых продуктов коррозии темного цвета.

Источники попадания воздуха

Подогреватели питательной воды низкого давления часто оказываются под вакуумом во время работы при малых нагрузках, что позволяет воздуху поступать в питательную воду через негерметичные клапаны, насосы, фланцы и т.д. Прочие источники попадания воздуха приведены в Таблице 8.1

Таблица 8.1 Источники попадания воздуха

Местоположение	Источник
Турбина	Сальниковые уплотнения Фланцы сифонные компенсаторы Клапаны
Конденсатор	Фланцы Манжеты Добоводы Смотровые стекла
Всасывающие насосы подачи конденсата	Клапаны, манометры, фланцы Уплотнения валов насоса
Подогреватель питательной воды	Клапаны
Прочее	Пробитые предохранительные диафрагмы Клапаны Сифонные компенсаторы Промывные емкости

Сопутствующие проблемы

См. также главу 15 («Коррозионно-усталостное растрескивание»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 8.1

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Пароперегреватель
Ориентация образца:	Горизонтальная, вертикальная
Срок службы, годы:	10
Программа водоочистки:	Простой в сухом состоянии под влажной подушкой
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)

Кислородные раковины, показанные на Рис. 8.1 и 8.4, были обнаружены во время гидротестирования котла-утилизатора, который выполнен в той же конфигурации, что и все лето. Секция пароперегревателя находилась в сухом состоянии под влажной подушкой.

На Рис. 8.1 видно, что произошло опускание под действием силы тяжести продуктов коррозии из мест их образования на вертикальных участках. Значительные кольца окружающей раковины на горизонтальной части подвешенной секции, указывают на то, что там было небольшое количество конденсата (Рис. 8.4). Более тщательное обследование под стереомикроскопом с небольшим увеличением выявило трещины сжатия в защитном слое оксидов на участках раковин. Очевидно, что меры предосторожности по проведению осушки в трубах не смогли предотвратить влияния конденсированной влаги и атмосферного кислорода.

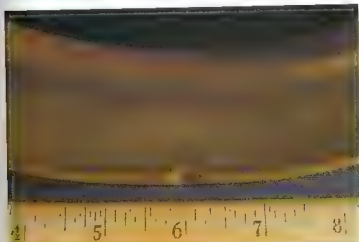


Рис. 8.4 Эпизодические кольца от воды, окружающей раковину, указывают на то, что в раковине было небольшое количество конденсата (по разрешению Института электроэнергетических исследований).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 8.2

Промышленность	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Конвекционный пучок
Ориентация образца:	Различная
Срок службы, годы:	15
Программа водоочистки:	Простой с водой гидразин морфолин
Давление в барабане:	700 фунт/кв. дюйм (4.8 МПа)
Характеристики трубы	Наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)

На Рис. 8.5-в 7 показана типичная кислородная точечная коррозия, вызванная неправильным выполнением процедуры простоя с заполнением водой. Причиной этого могло быть недостаточное количество химических поглотителей кислорода или ошибки при поддержании циркуляции воды.

На Рис. 8.5 видно, что продукты коррозии опускались под действием силы тяжести. Это свидетельствует о застое или очень медленном движении потока воды во время простоя. Значительные перемещения воды привели бы к изменению ориентации длинной опускания в направлении потока воды. Типичные буторки продуктов кислородной коррозии показаны на Рис. 8.6 и 8.7.

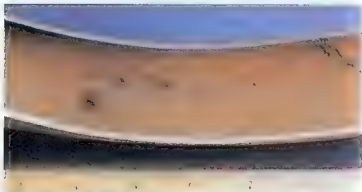


Рис. 8.5 Кислородные ржавчины на внутренней поверхности трубы

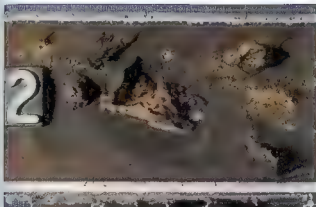


Рис. 8.6 Бугорки поверх раковин, вызванных кислородной коррозией

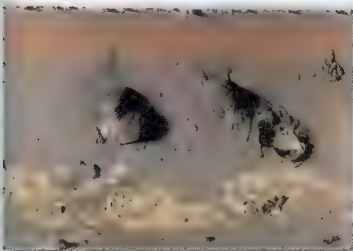


Рис. 8.7 Бугорки поверх раковин, вызванных кислородной коррозией

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 8.3

Промышленность	Паровое отопление
Местоположение образца:	Жаротрубный котел
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	4
Программа водоочистки:	Полимер и сульфит натрия
Характеристики трубы	Наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)

На Рис. 8.8 показана наружная поверхность котла с жаровыми трубами, которые подверглись жесткой окислительной коррозии. В подаче теплоносителя окислители произошли перерывы, продолжавшиеся до 10 минут. Возможно, что точечная коррозия началась и прогрессировала, именно во время этих перерывов. Отложения, которые также могли бы послужить ингибиторами точечной коррозии (коррозия по действием отложений), на трубе отсутствовали.

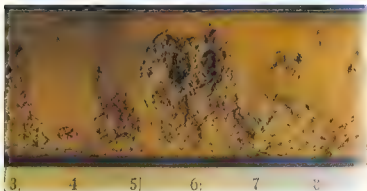


Рис. 8.8 Коррозия из-за перерывов в подаче на наружной поверхности жаровой трубы

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 8.4

Промышленность:	Паровое отопление
Местоположение образца:	Трубопровод возврата конденсата
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	9
Программа водоочистки:	нейтрализующий амин
Характеристики трубы:	наружный диаметр 1 25 дюйма (32 мм)

На Рис. 8.9 приведен пример периодически возникавшей проблемы в одной из зон конденсатной системы в котле, который находился в эксплуатации 8-10 часов в сутки. Красноватый цвет окислов железа и бугорки, покрывающие поверхность, служат признаком того, что здесь действовала кислородная коррозия.

Конденсатная система во время работы котла находится под давлением и вода в ней имеет температуру 220°F (104°C). Хотя кислород в этих условиях и мог присутствовать в системе, более вероятно, что источником кислорода стал воздух, проникаемый в линию при охлаждении системы в период простоя. Обработка с помощью создающего пленку амينا вместо простого нейтрализующего амينا, возможно, была бы более успешной в решении проблемы коррозии данного газа.

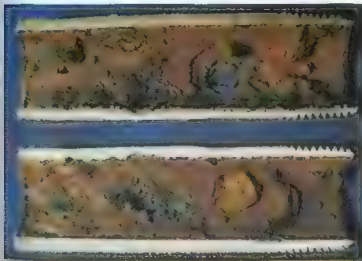


Рис. 8.9 Возвращая поверхность конденсатной линии

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 8.5

Промышленность:	Химическая технология
Местоположение образца:	Экономайзер
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	7
Программа водоочистки:	Полимер и поглотитель кислорода
Давление в барабане:	600 фунт/кв. дюйм 4,13 МПа
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 5/8 дюйма (63 мм,

Красноватый цвет оксидов железа в присутствии бугорков, покрывающих выпуклые оксиды железа раковины. Рис. 8.2), типичные признаки воздействия на сталь экономайзера воды с избыточным содержанием растворенного кислорода. Точечная коррозия и сквозные отверстия в трубах экономайзера стали на установке постоянной проблемой. Повреждения здесь случались каждые 3-4 месяца.

Измеряемое содержание кислорода в воде составляло 5-9 ч. млрд. Могли происходить подъемы температуры и до более высокого уровня, но они не были зафиксированы документально. Котел находился в непрерывной эксплуатации. Источник кислорода не был установлен, однако было понятно, что в зонах экономайзера повышенная воздействие коррозии, существовало избыточное содержание кислорода.

Коррозия со стороны топки

Введение

Выражаясь простым языком, горение представляет собой быструю реакцию кислорода с основными химическими компонентами топлива углеродом, водородом и серой с выделением тепла и образованием продуктов сгорания (Рис. 9.1). «Постороннее» вещество, присутствующее в топливе, образует побочные продукты сгорания, называемые золом.



Рис. 9.1 Продукты сгорания, образующиеся при горении топлива

Независимо от первоначального физического состояния топлива процесс горения может привести к преобразованию компонентов топлива в одно или во все три состояния вещества — твердое, жидкое и газообразное. В установках для сжигания температура топочных газов может составлять от 3000°F (1650°C) в пламени до 300°F (151°C) и ниже в дымовой трубе. В мере охлаждения продуктов сгорания по пути к дымовой трубе может происходить конденсация газообразных продуктов до жидкого состояния, замораживание жидких продуктов с образованием твердого вещества. Это охлаждение может происходить быстро на поверхностях теплообмена, к которым относятся холодными по сравнению с топочным газом, т.е. на стенах труб котла или пароперегревателя.

Кроме того, продукты сгорания редко остаются в виде отдельных оксидов, чаще всего они реагируют друг с другом с образованием новых разновидностей соединений и комплексов. Иногда эти новые вещества могут иметь температуру плавления более низкую, чем вещества, из которых они были образованы. Присутствие таких жидких веществ может вызывать сложности, связанные с коррозией со стороны топки.

В главах с 9 по 13 описаны и рассмотрены различные виды коррозии со стороны топочного пространства.

Коррозия под действием мазутной золы

Места преимущественной коррозии

Коррозия под действием мазутной золы представляет собой высокотемпературное явление, происходящее в жидкой фазе главным образом в местах, где температура металла достигает 1100-1500°F (593-816°C). Она происходит в секциях пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя котла, особенно в котлах установок для производства энергосредств. Она может вызывать повреждения в охлаждаемых трубах, в крепежных или опорных устройствах, которые работают в условиях более высоких температур поверхности, чем трубы.

Общие сведения

Коррозия со стороны топки может вырасти в большую проблему, если происходят изменения в поставках топлива или переход на другие его виды. Такие изменения могут привести к образованию «агрессивной» золы. Коррозия под действием мазутной золы происходит тогда, когда на стенке трубы накапливается расплавленный шлак, содержащий соединения ванадия, в указанной ниже последовательности:

1. Соединения ванадия и лития, присутствующие в топливе, окисляясь в пламени до V_2O_5 и Na_2O .
2. Частицы золы прилипают к поверхности металла, причем Na_2O действует в качестве связующего.
3. V_2O_5 и Na_2O реагируют друг с другом на поверхности металла, образуя жидкость (эвтектическую смесь).
4. Образовавшаяся жидкость расплавляет металл, что приводит к дальнейшему окислению находящегося ниже металла.

Считают, что коррозия происходит путем катодического окисления металла пятиокисью ванадия V_2O_5 при сложном взаимодействии. Вызываемое этим быстрое окисление металла уменьшает его толщину, которое свою очередь уменьшает площадь участка, несущего нагрузку. Это уменьшение площади приводит к увеличению напряжений в оставшейся области. Комбинированное влияние роста напряжений и высоких температур, делает привозит к аварии, вызванной ползучестью.

Коррозия труб пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя под действием плазмы, имеющего температуру плавления в интервале 1100-1300°F (593-704 °C), в конце концов заставила отказаться от стремления работать при более высоких температурах пара, которое существовало в начале 60-х годов. Практически все котлы-утилизаторы в дальнейшем стали проектировать в расчете на максимальные температуры пара в интервале от 1000 до 1025°F (538-552°C).

Важнейшие условия, благоприятствующие коррозии

Накопление коррозионного шлака может происходить при использовании в качестве топлива мазута с высоким содержанием ванадия, кадмия, свинца либо комбинации данных элементов, если для образования V_2O_5 имеется достаточно большой избыток воздуха или когда температуры шлака достигают значения 1400°F (593°C). По мере роста температуры происходит значительное увеличение числа компонентов, содержащих Na_2O , V_2O_5 , которые образуют жидкости (Рис. 9.2).

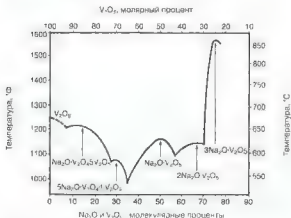


Рис. 92. Кристаллы оксидов металлов, выращенные в растворе NaClO₄ и HClO₄ в смеси с 1 процентным раствором Рен-Филдса. Оксиды и гидроксиды металлов и их галогениды. Крystalлы выращены в смеси с 1 процентным раствором Рен-Филдса. Амстердамский университет, Амстердам, 1967, с. 11.

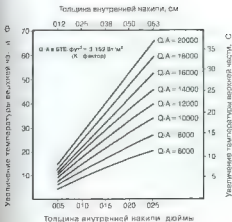


Рис. 9.3 Зависимость роста температуры металла от толщины накипи на внутренней поверхности труб, охлаждаемых паром. С разрешения John Wiley and Sons, *Metallurgical Failures in Fossil Fuel Boilers* («Аварии металлургического оборудования в котлах на ископаемом топливе»), David N. French, New York 1987.

На Рис. 9.3 можно видеть, как по мере увеличения толщины внутренней накипи растет, также и температура металла, поскольку накипь действует как теплоизоляция. Поэтому в старых устройствах, в которых может происходить накопление толстых слоев внутренней накипи, температуры металла будут увеличиваться и могут превышать температуры, при которых натриевые-вольфрамовые комплексные соединения становятся жидкими. Если это произойдет, могут внезапно возникнуть неожиданные проблемы с коррозией под действием мазутной золы, даже если рабочие параметры и химический состав топлива не изменялись.

Идентификация коррозии под действием мазутной золы

На Рис. 9.4 показано, как выглядит участок трубы из низколегированной стали, корродировавший под действием мазутной золы. Сечение трубы промежуточной пароперегревателя из нержавеющей стали, корродировавшая под действием мазутной золы, показана на Рис. 9.5, а на Рис. 9.6 показаны разрушения трубы из нержавеющей стали в местах стыковки. Участок стыковки выступал над потоком газа, действовал как теплопередающее ребро, повышая температуру металла у основания стыка. В результате произошла серьезная коррозия под действием мазутной золы, когда температура металла превысила 1100°F (593°C).

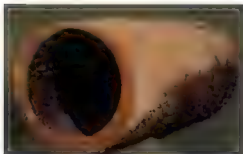


Рис. 0.4 Утончение стенки трубы из-за коррозии под воздействием кислотной воды. Скорость коррозии составила 0,030 дюймов/год (0,76 мм/год) [С: разрешенная плотность электроэнергии 1,000 кВт/18 фунт/час, напряжение 24]

Предупреждение коррозии под действием мазутной золы

Первым шагом в борьбе с коррозией под действием мазутной среды должна стать химический анализ топлива и среды для определения возможных присутствия в них агрессивных компонентов. Важно также знать температуру плавления золь. Ежегодные проверки толщины стенок трубы с помощью ультразвуковых приборов помогут заранее предупредить о надвигающихся осложнениях. Если разрушение трубы уже произошло, контроль толщины стенок поможет определить серьезности проблемы.

FIG. 9.5. Kerosene fuel injection nozzle spray pattern. (a) spray pattern with fuel injection at 1500 rpm; (b) spray pattern with fuel injection at 2000 rpm. Courtesy of Caterpillar Inc. and Wix and Sons. With thanks to Federal Mogul Inc. for permission to reproduce the photograph. Detroit, Michigan: Detroit Diesel Corporation, 1983.



Рис. 9.6 Внешняя и внутренняя коррозия у основания стыка (за верхней частью фотографии) труб промежуточного пароперегревателя из нержавеющей стали (с разрешения Института электротехники и электромеханики)

Предупредить коррозию под действием мазутной золы можно путем ликвидации основных условий благоприятствующих ее повышению. Во-первых, если нет возможности использовать топливо с очень низким содержанием ванадия на ринк и серы, то можно порекомендовать применение добавок к топливу предотвращающих обрамление электротических смесей с низкой температурой плавления. Промежение соединений магния доказало свою экономическую эффективность в ликвидации проблем с коррозией, происходящей под действием мазутной смолы. Магний образует с ванадием комплексное соединение ($3\text{MgO} \cdot \text{V}_2\text{O}_5$) температура плавления которого значительно выше той, которую обычно поддерживают в секциях пароперегревателей и промежуточных пароперегревателей. Во вторых, топливо в котле рекомендуют сжигать при небольшом избытке воздуха, чтобы замедлить образование V_2O_5 . В третьих, температура металла пароперегревателей и промежуточных пароперегревателей не должна превышать 1000°F (538°C). Котлы, имеющие секции пароперегревателей и промежуточных пароперегревателей со сжиганием, должны периодически проходить химическую очистку с целью предотвращения обрамления внутренних напиль.

Коррозия под действием каменноугольной золы

Места преимущественной коррозии

Коррозия под действием каменноугольной золы является высокотемпературным процессом, протекающим в жидкой фазе. Она происходит на металлических температурах поверхности которых находится в интервале от 1050 до 1350 °F (566-732°C). В котлах действие коррозии данного вида обычно ограничивается секциями пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя.

Общие сведения

Коррозия под действием угольной золы может происходить при изменениях в топливоснабжении или при переходе на другой вид топлива, при сгорании которого образуется агрессивная зола.

При сжигании угля содержащиеся в нем минеральные вещества подвергаются действию высоких температур с выделением летучих щелочных соединений и оксидов серы. Коррозия происходит, когда летучая зола отлагается на металлических поверхностях, находящихся при температуре 1050-1350 °F (566-732°C). С течением времени происходит конденсация летучих щелочных соединений и соединений серы на летучей золе и реакция между ними с образованием на границе раздела металла и отложений сложных щелочных сульфатов, в частности $K_2Fe_2(SO_4)_3$ и $Na_2Fe_2(SO_4)_3$. Расплавление

ний, а так правит защитный слой оксида железа, покрывающий трубу, что приводит к ускоренному окислению металла.

С увеличением толщины стенки трубы под действием механизма коррозии происходит значительное увеличение напряжений в углоочистной стенке. Высокие напряжения совместно с высокими температурами металла могут привести к окончательному разрушению металла в результате рывка под напряжением.

Важнейшие условия, благоприятствующие коррозии

Важнейшие условия, приводящие к коррозии под действием угольной золы, это использование угля, при сжигании которого образуется агрессивная зола, и условия, при которых происходит повышение температуры металла до 1050–1350°F (566–732°C).

Идентификация коррозии под действием каменноугольной золы

Коррозию под действием угольной золы можно определить по накоплению шлака на стенке трубы и связанным с ним разрушением металла. Поверхность труб из аустенитной нержавеющей стали может приобрести рваный вид. На трубах из никель-хромовой стали обычно появляется характерных участков разрушенного металла, которые расположены с обеих сторон трубы под углом от 30° до 45°. Повреждения на коррозионной поверхности имеют вид канавок или шероховатостей (Рис. 10.1).

Обычно, если коррозия произошла, она будет наибольшей в трубах наиболее высокой температурой пара. С наибольшей скоростью коррозия протекает следующим образом в выходных трубах радиационного жаропередача или на плитах промежуточного жаропередача.

Скорость коррозии определяется как линейная функция температуры, которая достигает максимума при температурах в интервале от 1200 до 1300 (677–732°C). При более высоких температурах скорость коррозии быстро снижается из-за термического разложения коррозионных веществ (Рис. 10.2).



Рис. 10.1 Труба из легированной стали ASME SA 213, сеп. 122, которая разрушилась из-за коррозии, вызванной угольной золой. На рисунке показаны характерные канавки, образовавшиеся в результате коррозии. Из книги: Metal Piping for High-Temp. & High-Press. Systems, 1977.

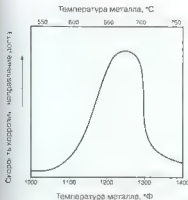


Рис. 10 2 Неправильная зависимость между температурой и скоростью коррозии

Коррозия почти всегда связана со спекшимися или шлакообразными отложениями, которые тесно сцеплены с поверхностью металла. Эти отложения состоят из трех отчетливо выделяемых слоев (Рис. 10 3). Внешний массивный слой состоит из пористого летучего золь, промежуточный слой состоит из бесцветных водорастворимых щелочных сульфатов, которые в основном и вызывают коррозионное разрушение. Третий слой обычно имеет толщину от 1/32 до 1/4 дюйма (0,8-6,3 мм). Этот внутренний слой состоит из блестящих черных оксидов железа и сульфидов, покрывающих поверхность металла. Толщина этого слоя редко превышает 1/8 дюйма (3,2 мм).

Ультразвуковые измерения толщины, проведенные под углом от 30° до 45° на обеих сторонах трубы, должны показать несколько серьезных разрушения металла.

Коррозия под действием угольной золы может происходить при использовании любого битуминозного угля, но наиболее вероятна она для углей, содержащих более 3,5% серы и 0,25% хлора.

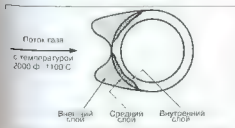


Рис. 10 3 Сечение трубы, подвергнутой коррозии из-за битуминозного угля

Предупреждение коррозии

Для определения вероятности присутствия в топливе агрессивных составляющих обычно рекомендуют проводить химический анализ топлива и оттоженных зол. Может оказаться полезным также определение температур плавления зол.

Если известно, что коррозия неизбежна, может оказаться полезным и углубляющее исследование топливных систем, чтобы определить масштабы и серьезность возможной коррозии. Если коррозия не очень велика, экономически эффективными могут стать периодические замены труб, выбор труб с более толстыми стенками, применение расплавленных твердых защитных покрытий или пайки или сварного шва. Протянется срок службы труб и применение защитных экранов и нержавеющей стали в зонах, которые подвергаются действию коррозии.

Для защиты от жесткой коррозии может потребоваться гальванизация труб коррозионно-стойкими сплавами. Добавки к топливу в борьбе с коррозией под действием угольной кислоты пока экономически эффективными не стали.

С учетом выженных факторов, которые способствуют данному виду коррозии, может быть полезным использование смеси разных коррозионно-устойчивых металлов для уменьшения содержания в них агрессивных компонентов, а также снижение температуры металла. Для снижения температуры металла можно осуществлять снижение температуры пара, периодическую очистку секций пароперегревателя и водоперегревателя после слива остатков воды для предотвращения образования внутренних налетов, а также изменение конструкции повреждаемых участков, что поможет уменьшить тепловые потоки.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 10.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Выход из вторичного пароперегревателя
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	21
Программа водоочистки:	Очистка от летучих примесей всех видов
Давление в барабане:	2500 фунт кв. дюйм (17,2 МПа)
Температура пара:	1050°F (566°C)
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 1/8 дюйма (54 мм) аустенитная нержавеющая сталь (SS321)
Топливо:	Восточный уголь зольность 10% серы 7%

После выхода пара из вторичного пароперегревателя котла, из которого выходят трубы диаметром 2 1/8 дюйма (54 мм) SS321, химически подвергается коррозии. В течение трех лет произошло десятикратное разрушение конструкции и непригодно.

Трубы из нержавеющей стали не были разрушены, однако с наружной поверхности со стороны изгиба и изгибов участки жесткой коррозии, толщина которых 1 дюйм (25 мм). Неврежательная толщина уменьшилась с 0,85 дюйма (22 мм).

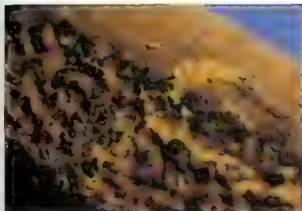


Рис. 10.4 Взаимная поверхность коррозионного участка. Поверхность имеет разную степень коррозии, характеризующуюся различной степенью окисления

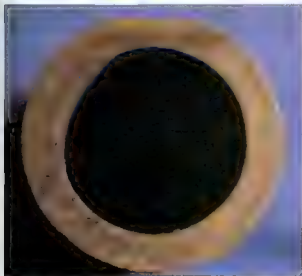


Рис. 10.5 Поперечное сечение трубы, в котором видна степень разрушения

Микроструктурные исследования показали обилие окислительных пленок на затвердевшие интерметаллиды, образовавшиеся на наружной поверхности коррозионно-равновесного участка. Химический анализ веществ, образующихся в результате коррозии, показал высокие содержания железа, серы, кислорода, а также компонентов азотистой кислоты.

Визуальный микроструктурный и химический анализ подтверждает возможность разрушения металла, возникшего из-за коррозии под действием углекислотной среды, образующейся на металлах с высокой поверхностью соединений с металлами сульфатов щелочных металлов.

Коррозия трубных экранов со стороны топки

Места преимущественной коррозии

Как показывает обзор фактов настоящей главы, здесь будут рассмотрены коррозии со стороны топки трубных экранов котлов, работающих на каменном угле. Коррозии данного вида часто подтверждаются факты, у которых расстояния между горелкой и боковым или задним экраном невелики. Коррозия часто происходит вблизи горелки или в зоне поддувала.

Общие сведения

Коррозия трубных экранов со стороны топки может развиваться, когда происходит интенсивное старение топлива (окислительные условия). Интенсивное старение приводит к выделению летучих соединений серы, способных к образованию паросульфатов. Паросульфаты натрия и калия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$) могут иметь температуры плавления 800°F (427°C) и ниже. Оба соединения отличаются высокой химической активностью. Эти расплавленные вещества могут вызвать мажущий коррозионный заед на поверхности, грубо вызывая ускоренное разрушение металла на их трещине.

В зависимости от содержания SO_2 в смеси температура плавления может быть ниже 700°F (376°C) для $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и около 754°F (387°C) для $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (рис. 11-1). Когда температура растет, содержание SO_2 , необходимое для образования жидкой фазы, также значительно увеличивается. Поэтому при высоких температурах и калия и натрия будут находиться в жидком состоянии, а следовательно, они являются худшими поверхностями, в частности, трубных экранов.

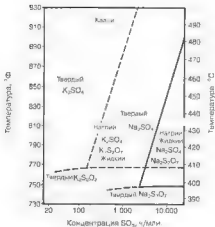


Рис. 11.1 Связь температуры с концентрацией SO_3 в смеси Na_2SO_4 и K_2SO_4 в твердой и жидкой фазе в системах Na_2SO_4 - Na_2O , K_2SO_4 - SO_3 . Взяты из: Smith, R. H. *Chemical Equilibrium Data*, *Boilers and Gas Turbines*, McGraw-Hill, New York, 1971, p. 1061.

Важнейшие условия, способствующие коррозии

Основным фактором в развитии коррозии трубных экранов служит недостаток кислорода в зоне горелок. Высокотемпературный среда для коррозии создают плохое горение и постоянный или прерывистый контакт и контакт со стенками топки в сочетании с углями, способными к образованию золы с низкой температурой плавления.

Идентификация коррозии трубных экранов

Коррозия трубных экранов со стороны топки часто проявляется в повреждении металла вдоль гребня труб. Она может распространяться неравномерно на разные трубы на определенных участках (Рис. 11.2). Корродированные места могут быть покрыты необычно толстыми слоями продуктов коррозии оксида железа и сульфата железа. Иногда в местах разрушения металла заметна сдвиг потока жидких пиролизных продуктов.



Рис. 11.2 Жесткое разрушение металла из-за коррозии топки — пробелы в распределении Кислота. Электроэнергетических Исследования

Предупреждение коррозии

Поскольку основные факторы, определяющие данную форму разрушения, относятся к характеристикам процесса горения, уменьшение отрицательного влияния или полная ликвидация проблемы могут быть достигнуты внесением изменений в процесс горения. Изменения могут представлять собой повышение эффективности горения путем размазывания угля для образования более мелких частиц, практически одинакового размера, сбалансированную подачу топлива к отдельным горелкам, регулировку горелок для предотвращения наброса топлива на стенку топки, увеличение площади перераспределения вторичного воздуха.

Однако опыт показал, что от этих мер можно ожидать лишь незначительных улучшений. Для достижения более существенных результатов может оказаться необходимой реконструкция топки. Введение добавок в топливо не приводит к достаточно высокому экономическим достижениям в борьбе с коррозией жаровых труб со стороны топки.

Для определения степени серьезности повреждения следует использовать ультразвуковой контроль толщины стенок труб. Если повреждения незначительны, может оказаться достаточной наварка заплат. Если повреждения серьезные, могут стать экономически оправданными установка более толстых труб или труб из коррозионно-стойких сплавов, напыление термостойких покрытий, изолирование труб и изолирование запальных жаров.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 11.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Трубы свода
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	35
Программа водоочистки:	Всесторонний контроль
Давление в барабане:	2150 фунтов на дюйм ² (14,8 МПа)
Температура пара:	1050°F (566 °C)
Характеристики трубы:	наружный диаметр 3 дюйма (76 мм) от стержнями
Топливо:	Уголь, зольность 13%

за период в несколько месяцев отпущены в отпуск 10 работников, в том числе 5 человек — женщины. Выходные пособия в размере 100 руб. выплачены 10 работникам, в том числе 5 женщинам.

[illegible]

Микроструктурные исследования не показали никаких термических изменений в образцах. Однако в образцах, отлитых при температуре 1000°C, обнаружены глубокие межкристаллитные трещины, что свидетельствует о наличии напряжений в образцах.



Рис. 11.3 Продольная трещина в
плитке с изгибом; трещина имеет
направление, соответствующее диа-
гональ растяжения, возникающей
в результате изгиба и прогиба
плитки, дающей ей форму



Рис. 11.4 Разрушение металла вокруг радиаторной пластины, вызванное воздействием расплавленной натриевой соли на трубу с оболочкой из нержавеющей стали

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 11.3

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экранные трубы котел-утилизатор
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	13
Программа водоочистки:	Полимерная
Давление в барабане:	875 фунт кв. дюйм (6 МПа)
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 5 дюйма 63 мм,
Средство обогрева:	Черный шлок

Коррозия, показанная на Рис. 11.5 и 11.6, обусловлена воздействием расплавленной соли на стенки с толщиной 40 фунт в (12,2 мм) и толщиной 4 фунт в (1,3 мм) и на трубных щельях. Неизбежная деградация металла привела к коррозии.

Рассматриваемый коррозия — результат воздействия промывочной воды, которая используется для очистки отложения солей. Когда с одной стороны — это промывали промывке водой два раза в год.

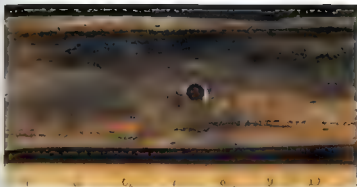


Рис. 11.5 Сосудное отверстие на участке истончения разрушенного металла



Рис. 11.6 Фотография разрушенного металла в разрезе с отверстием, образовавшимся под действием давления

Отверстие размером 3/8 дюйма (9,5 мм) в Ред. 11.51 находится в центре участка, наиболее серьезно корродировавшего резьбу. Коррозия началась задолго до катастрофического разрушения, которое произошло на поверхности, покрытой оксидом. Микроскопические исследования выявили трещины, как перепада.

Тот факт, что коррозия была локализована в зоне малых торцевых фланцев, может свидетельствовать о том, что восстановительные условия создавались на этом месте во время работы фланцев. Привели к образованию коррозионной разности потенциалов. Фактически температура плавления. В данном случае коррозия могла произойти только во время первоначального деформирования макулатурной фольгой. Однако действующая в течение 12 лет работа коррозия оказалась катастрофической, но не вызвала аварии.

Коррозия на холодном конце котла во время эксплуатации

Места преимущественной коррозии

Коррозия на холодном конце происходит, если температура металла падает ниже точки росы сернистой кислоты, содержащейся в топливных газах. Проблема, вызванная коррозией, становится все более заметным образом в таких сравнительно низкотемпературных компонентах котла, как экономайзер, по отрезке в воздухе, вытяжной вентилятор, скруббер, доочистка газов и дымовая труба.

Общие сведения

В большей части систем скин-эффекта температура топливных газов может быть в интервале от 300 °F (149 °C) в начале до 70 °F (21 °C) и менее в дымовой трубе. Такие перепады температуры могут вызывать многочисленные химические и физикохимические изменения и взаимодействия топливных газов. Одним из наиболее серьезных осложнений является образование серной кислоты между водяным паром и триоксидом серы с образованием серной кислоты.

В результате охлаждения топливных газов происходит образование паровой фазы серной кислоты. При контакте данных паров с относительно холодной поверхностью может наблюдаться их конденсация с образованием жидкой серной кислоты. Температура, при которой начинается конденсация серной кислоты (точка росы серной кислоты) варьируется от 24° до 34° F (16–6° C) в зависимости от содержания триоксида серы и водяных паров в топливных газах. Коррозия происходит в результате конденсации серной кислоты на поверхности металла, и начинается корро-

иет на холодном конце, потому что он, в основном, вызывает коррозию в холодных зонах системы сжигания.

В целом проблема связана с процессом горения топлива, которое содержит серу или ее соединения. Сера, находящаяся в топливе, окисляется до диоксида серы согласно следующему уравнению:



Небольшая доля ($1-3\%$) оксидов топочного топлива серы дополнительно окисляется до триоксида серы за счет прямой реакции с атомарным кислородом в пламени горелки.



Возможно также и каталитическое окисление до SO_3 , если присутствуют оксид железа, пентоксид ванадия или никель.



От содержания триоксида серы и влаги в топочных газах зависит температура, при которой достигается точка росы. График на Рис. 12.1 показывает общее соотношение между концентрацией триоксида серы и точкой росы.

Коррозия может происходить, если температура металла оказывается ниже точки росы серной кислоты. При температуре ниже точки росы происходит образование серной кислоты на металлических поверхностях, что и вызывает коррозию металла в соответствии со следующими реакцией:

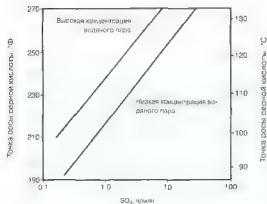


Рис. 12.1 Соотношение между концентрацией SO_3 в топочных газах и точкой росы серной кислоты



Следует отметить, что важнее, чем значение имеет температура металла, является температура топочных газов. Даже если температура топочных газов оказывается значительно выше точки росы, коррозия вполне возможна, если температура металла ниже точки росы.

Важнейшие условия, благоприятствующие коррозии

Важнейшими условиями, приводящими к коррозии на холодном конце, являются достаточное для коррозии содержание триоксида серы в результате влаги в топочных газах и наличие металлов, температура поверхности которых оказывается ниже точки росы серной кислоты.

Количество образующейся триоксида серы увеличивается с ростом избытка воздуха, времени нахождения газов в точке температуры газов, количества настоящего катализатора и содержания серы в топливе (Рис. 12.2).

Количество образующейся влаги зависит от многих факторов. Ее источниками становятся само сжигание, процесс его сжигания, утечки из котельных труб, а также пар, используемый при обдувке сажи.

Металл, температура поверхности которого ниже точки росы серной кислоты, подвергнется коррозии на холодном конце. Точка росы увеличивается, когда повышается количество триоксида серы в топочном газе и содержание в нем водяного пара.

Серьезность коррозии на холодном конце наиболее остра при сжигании «кислых» газообразных видов топлива и менее остра для мазута. Серьезность коррозии наименьшая при использовании каменного угля. Совместное сжигание мазута, содержащего серу и вандана, с природным газом, дает худшие результаты, чем использование одного мазута, из-за выделения водяного пара при сжигании природного газа.

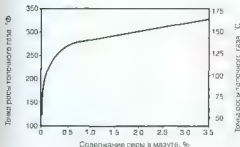


Рис. 12.2 Соотношение между процентным содержанием серы в мазуте и точкой росы топочных газов

Идентификация коррозии на холодном конце

Коррозия на холодном конце часто вызывает каренное пониженное разрушение металла без каких-либо признаков ражженных особенностей. Можно также наблюдать шероховатые поверхности и незначительные

Предотвращение коррозии

Коррозию на холодном конце можно предотвратить, зная условия, которые ее вызывают. Следует отметить присутствие в топочных газах достаточного количества серы и количества серы и питшков являющихся напиченные металлических поверхностях, температура которых оказывается ниже точки росы серной кислоты.

Чтобы избежать присутствия достаточного для коррозии количества грифокла серы в топочных газах, теплоходным котлам следует работать при 5-м или меньшем избытке топлива воздуха. Кроме того, следует следить к минимуму расход воздуха и использовать топливо с низким содержанием серы.

Для уменьшения избыточной влаги в топочных газах необходимо использовать топливо с минимальной влажностью, предотвращая утечки воды из труб и сжигать котельного пара при опускании.

Часто необходима и существующие конструктивные изменения для исключения металлических поверхностей, температура которых ниже точки росы серной кислоты. Эти изменения выходят за рамки данного руководства.

В котлах, которые оборудованы несколькими воздушными реверангами можно предотвратить отлет пыли и обеспечить выхлопные его промывку без прекращения работы всей системы.

Если химическое решение данной проблемы в виде применения обвалов в топочной камере на холодном конце системы.

Меры предосторожности

Металлические поверхности, которые подвержены коррозии на холодном конце, могут быть скрыты сложениями пыли, продуктами коррозии, что затрудняет визуальное доследование мест коррозии. Кроме того, в результате коррозии на холодном конце обычно появляются участки равномерных разрушений металла без каких-либо признаков ражженных особенностей. Очистка котлов очень важна, поэтому, начиная с момента коррозии, следует использовать следующие методы: очистка с применением ультрафиолетового излучения, ультразвука и других методов. Эти методы могут помочь в предотвращении отлета пыли. Определить, как часто коррозии на холодном конце может также визуальное сравнение профилей поверхностей и то и при анализе в сериальных вырезанных из разное оборудование.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 12.1

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экономайзер котла-утилизатора
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	20
Давление в барабане:	600 фунт/кв. дюйм 4,13 МПа
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 5 дюйма 63 мм
Средство обогрева:	Черный цопок

На Рис. 12.3 приведены крупным планом фотографии изнутри и снаружи трубы котла-утилизатора, которая подвержена общей коррозии. Можно видеть очерченные рисом поверхности. Коррозия происходит в тех местах, где не происходит конденсирования серной кислоты. Эта конденсация, если она происходит, обычно оказывает аттenuирующее действие на коррозию в котле-утилизатора, куда поступает горячая вода. Температура там обычно самая высокая.

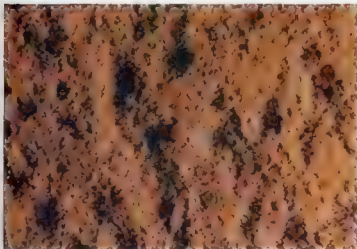


Рис. 12.3 Плотная конденсация серной кислоты внутри котла-утилизатора, вызвавшая коррозию (увеличено в 7,5 раза)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 12.2

Промышленность:	Сахарная
Местоположение образца:	Экономайзер
Ориентация образца:	Горизонтальная
Характеристики трубы:	наружный диаметр 17,8 дюйма 48 мм
Топливо:	Мазут № 6 (серы 1,9 %)

Следы коррозии и сви́стание — верная визитка из Риск-2.4 стали промиски и блемей для данного котла. На наружной поверхности, выходящей поверх котла, обломанных ребер и разломов равноммерное обломное разрушение металла. Серьезная коррозия в области крепления к обломанным ребрам прилегающего металла к отделению их от стенки трубы.



Рис. 12.4 Коррозия и сви́стание — верная визитка из Риск-2.4 стали промиски и блемей для данного котла. На наружной поверхности, выходящей поверх котла, обломанных ребер и разломов равноммерное обломное разрушение металла. Серьезная коррозия в области крепления к обломанным ребрам прилегающего металла к отделению их от стенки трубы.

Коррозия в точке росы во время перерывов в работе

Места преимущественной коррозии

Коррозия в точке росы во время перерывов в работе может происходить в эквипмантере, а также в тех зонах котла, где наружные поверхности покрыты сернистыми отложениями, и в них может происходить образование кислот.

Общие сведения

Коррозия в точке росы может привести к значительным коррозионным повреждениям наружных металлических поверхностей во время перерывов в работе котла. Когда котел остывает, температура его наружной поверхности падает ниже точки росы, что вызывает образование влаги на поверхности труб. Влага в сочетании с сернистыми отложениями может образовывать электролит с низким pH, под влиянием которого скорость коррозии может достигать 0,5 дюйма/год (12,7 мм/год). На Рис. 13.1 показана покрытая доломитом труба, по которой шла коррозия в точке росы до того, как отложения были удалены. На Рис. 13.2 показана поврежденная коррозией поверхность трубы уже после удаления отложений.

Важнейшие условия, способствующие коррозии в точке росы

Коррозия в точке росы происходит в присутствии отложений сернистого котла на внутренних труб при снижении температуры металла внутри котла.

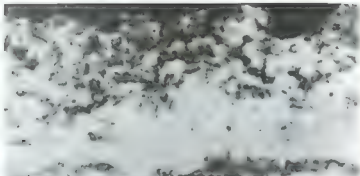


Рис. 13.1 Изменения в цвете и структуре поверхности бетона. На фотографиях с разрешения *Daniel P. Harman* — *Research Dept. Road Construction, West Virginia* — изредка встречаются коррозия в виде ржавых и коричневых пятен. *Road Engineering, July 22, 1982, p. 74*

да до тем температуры точки росы. Осаждения сернистой кислоты в присутствии влаги могут образовывать электролит с низким pH.

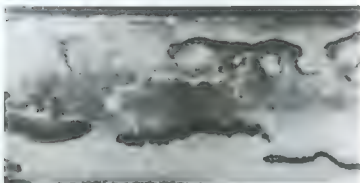


Рис. 13.2 Асфальт — это не только поверхность, это также и материал. Удаление в соответствии с изложенным остается при определенных условиях. Воспроизведено с разрешения *Daniel P. Harman* — *Research Dept. Road Construction, West Virginia* — Препятствие коррозии в виде ржавых и коричневых пятен. *Road Engineering, July 22, 1982, p. 74*

Идентификация коррозии в точке росы

После того как отложения удалены, обнаружить коррозию в точке росы поможет простой визуальный осмотр (Рис. 3.2). В типичном случае коррозия металла должна быть ограничена участками поверхности, которые были покрыты отложениями сернистой кислоты. При коррозии часто образуются отчетливо видимые участки разрушенного металла и островки практически нетронутого металла.

При идентификации коррозии в точке росы, может оказаться полезным анализ отложений соды, покрывающих трубу. Обычно этот вид коррозии происходит в результате контакта с сернистыми отложениями, которые образуют с водой растворы с низким pH.

Предупреждение коррозии в точке росы

Для предотвращения коррозии необходимо взять под контроль следующие условия, которые приводят к коррозии. Коррозия в точке росы благоприятствует следующим факторам: присутствие отложений сернистой кислоты, которые при смешивании с водой образуют электролиты с низким pH, и снижение температуры металла со стороны точки росы температуры ниже точки росы.

Для того чтобы исключить в присутствии отложений сернистой кислоты, могут быть приняты следующие меры.

- Использование топлива с низким содержанием серы. Это уменьшит или устранит образование коррозионно-активной зоны.
- Удаление отложений с металлических поверхностей на стороне точки росы немедленно после остановки котла путем промывки срубами воды под высоким давлением. Затем дожна исследовать ржавка поверхностей низкостепе́нным раствором для нейтрализации оставшихся кислотных веществ. Металлические поверхности следует просушить на воздухе.
- Металл со стороны точки росы защищать от образования ржавчины нанесением легкого масляного покрытия.
- Контейнеры с негазированной известной и неизвестной в точку на дриол простоя котла, будут поддерживать воздух сухим. Их можно с легкостью термодинамически менять.

Поддерживать температуру металла выше точки росы не всегда возможно, если температура котловой воды не превышает точку росы.

Меры предосторожности

Коррозия не может быть определена визуально, пока не будут удалены отложения. Отложения от коррозии на холодном котле могут помешать местному осмотру и разрушению металла, тактичному коррозии в точке росы.

Сопутствующие проблемы

(См. главу 1.2 «Коррозия на холодном котле котла во время эксплуатации»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 13.1

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экранная труба котел-утилизатор
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	10
Давление в барабане:	600 фунт кв. дюйм, 4,13 МПа,
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)
Средство обогрева:	Черный уголок

На Рис. 13.3 показан внешний вид экрана из нержавеющей стали. По ширине радиусная решетка трубы, к экрану, к термометру, ожерелью. Металлоструктурные соединения, как и в случае с наружной поверхностью экрана, имеют слой оксидной пленки. Выходящий из трубы слой сульфидов железа. Коррозия происходит в основном из-за фактора коррозии, возможно, от тонкого водного раствора, совместно с тем, что содержится в материале, образующем кислотный раствор.

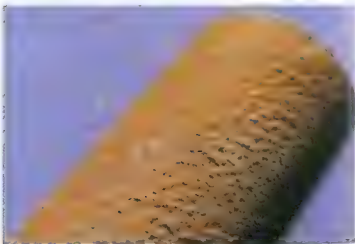


Рис. 13.3 Внешний вид экрана котла, который подвергся коррозии из-за воздействия воды и кислорода воздуха.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 13.2

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Передний ряд труб экономайзера (котел-утилизатор)
Ориентация образца:	Изгиб, наклонная
Срок службы, годы:	11
Давление в барабане:	600 фунт/кв. дюйм (4,13 МПа)
Характеристики трубы:	Надужный диаметр 2 дюйма (51 мм)
Средство обогрева:	Черный цвелок

Труба котельного типа, показанная на Рис. 13.4, имеет трещины, обнаруженные на поверхности, которую сверху не защищали от коррозии продукты коррозии отложения. Вещь для этой поверхности характерна для коррозии, происходящей в периоды простоя, когда соли, образующие кислотную среду, совместно с атмосферной влажностью создают условия благоприятные для коррозии.

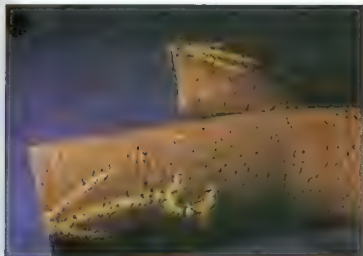


Рис. 13.4 Наружная поверхность трубы котельного типа, подвергшаяся коррозии

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 13.3

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экранная труба на 2 фута 0,6 м ниже свода
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	12
Давление в барабане:	600 фунт/кв дюйм 4,13 МПа
Характеристики трубы:	наружный диаметр 3 дюйма 76 мм
Средство обогрева:	Черный оценок

Коррозия, показанная на Р.к. 13.5, была вызвана воздействием коррозионным обнаруженным в верхней части трубы, которая вокруг отверстий. Коррозия произошла из-за того, что в этом месте не было Катодной защиты. Катодная защита была установлена в месте промывки трубы. Измерения также показали увеличение скорости коррозии в результате 10 %.

Коррозия произошла в результате присутствия на металлической поверхности сероуглеродистых отложений, которые не были удалены во время промывки трубы. Коррозия этого вида в воде со щелочной средой, вызывая коррозию в том числе для участка с покрытием. Если данные о коррозии в водных условиях скорости коррозии достигают 0,05 дюйма год, 1,27 мм год.



Рис. 13.5 Коррозия в результате воздействия коррозионной среды на поверхность.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 13.4

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Труба парогенератора 2 фута (0,6 м) над грязесборником
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	21
Давление в барабане:	750 фунт кв. дюйм / 5,2 МПа
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 2 5 дюйма / 63 мм
Средство обогрева:	Чесный дрова

Рассерженные металлурги заявили на Р.К. 13.6, что вдобавок к жесткой и всемогущей крупной промышленности, которая разбогатела на рудных выездах, появились еще и мелкие металлургические предприятия, которые не платят налогов. Таких предприятий прежде не было в Казахстане. В республике шарашу выхренных денег не было, все деловито проводили каждые 4 месяца.

По мере износа обшивки уменьшился и коэффициент трения при движении по 2-й Коррозионная стойкость труб из нержавеющей стали островки прежней неподатливой поверхности.

Микроэкономическая теория является основой для анализа прикладных проблем государственного вмешательства в рыночную экономику. Ключевыми проблемами являются: как государство может эффективно регулировать экономическую деятельность, как оно может обеспечить социальную справедливость, как оно может обеспечить экономический рост и т.д.



Рис. 13.6. Изменение температуры в процессе охлаждения

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 13.5

Промышленность:	Сталепитерная
Местоположение образца:	Сливная труба в 12 дюймах (300 мм), от паросборника
Ориентация образца:	Наклонная на 45°
Характеристики трубы	Наружный диаметр 2 5 дюйма 63 мм,
Топливо:	Мазут с высоким содержанием серы

Труба, показанная на Рис. 13.7 была одной из сликовых труб, обнаруженных при осмотре со стороны топки. Труба в канале проходила под углом 45°. Большая канавка со стороны от вертнем была расположена вертикально. Установлено, что ориентация канавки совпадала с движением капель воды, падавших из расположенной над ней секции жондоманзера.

Осмотр секции жондоманзера выявил еще ряд труб с канавками. Эти канавки совпадали с направлением движения капель воды, которые падали из секции водухоподогревателя, расположенной над жондоманзером.

Осмотр дна секции водухоподогревателя, который не был промыт, — вода показала наличие влажных отложений, на которых лежала вода. Эти отложения имели рН, равный 2. Анализ отложений методом рентгеновской флуоресценции показал в них высокий уровень содержания серы.

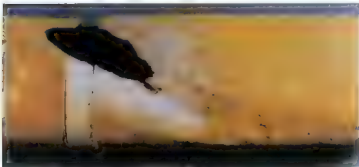


Рис. 13.7 Канавка в сквозное отверстие на никельевой трубе в результате коррозии под действием стравливая сверху капля коррозионно-ослабленной воды

Повреждения под действием водорода

Места преимущественного повреждения

Данный вид повреждения является прямым результатом коррозии под влиянием электрохимических реакций при которых происходит выделение атомарного водорода. Повреждения обычно ограничиваются внутренними поверхностями заполненных водой труб, которые подвержены активной коррозии.

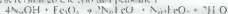
Повреждения, вызываемые водородом, по большей части ограничены трубами, охлаждаемыми водой. Разрушения обычно происходят в югах с малыми тепловыми потоками, под острыми слоями отложений, в наклонных или горизонтальных трубах, а также на участках теплопередачи рядом с подкладными кольцами сварных, а также любых других устройств, препятствующих свободному движению потоков. Опыт показал, что повреждения, вызванные водородом, происходят в котлах работающих под давлением ниже 1000 фунт/кв. дюйм (6,9 МПа).

Общие сведения

Повреждения, вызываемые водородом, могут появиться в местах, где в результате коррозионных реакций происходит образование атомарного водорода. Повреждения могут быть вызваны коррозионной реакцией как при высоких, так и при низких значениях pH. Повреждения при высоких pH представляю собой самую простую щелочную коррозию (см. Главу 4 «Щелочная коррозия»).

* Термины, по которым атомарная форма водорода называется атомарным водородом (H), в отличие от молекул водорода (H₂).

Концентрированный гидроксид натрия растворяет магнитный оксид железа в соответствии с следующей реакцией:



После того как магнитный оксид разрушен, вода способна реагировать непосредственно с железом с выделением атомарного водорода:



Сам гидроксид натрия может также реагировать с железом с образованием водорода:



Если происходит выделение атомарного водорода, он способен диффундировать в сталь. Некоторое количество диффундировавшего атомарного водорода в результате реакции при охлаждении образует на границах кристаллитов или включений в металл молекулы водорода, либо по реакции с карбидами железа, содержащимися в металле, образует метан:

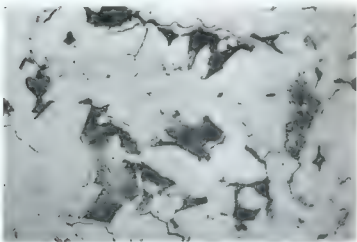


Рис 14.1 Образование микропустот и трещин в металле, происходящее в результате образования метана в результате реакции с карбидами железа. Карбиды железа в стали образуют темные пятна, стигматов в виде темных островков, увеличение в 400 раз

Поскольку эти молекулы при водородном металургическом диффузионном процессе образуются газом, как и в обычных условиях, то в металле неизбежно происходит образование газов в металле из-за его неравномерного распределения по границам гранул, образуя в металле микротрещины (Рис. 14.1). В результате скопления микротрещин прочность грубого металла уменьшается до тех пор, пока при растяжении, создаваемом давлением в котле, не превысит предел прочности при разрыве у поврежденного металла. В данной толщине может возникнуть продольный разрыв с толстых краев (Рис. 14.2). В зависимости от степени водородных повреждений возможен прорыв крупных продольных участков стенки с образованием зияющего отверстия (Рис. 14.3).

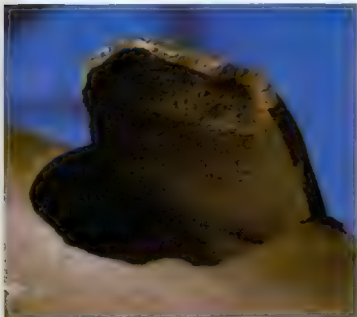


Рис. 14.2 Разрыв с толстых краев, прорыв стенки котла, поврежденной водородом при эксплуатации. На фото видно, что разрыв произошел по границам гранул, образуя микротрещины, которые в результате скопления образуют продольный разрыв с толстых краев.



Рис. 14.3 Большой участок трубы, оторванный в результате повреждений под действием водорода от грелки котла, работающего под давлением 20 5 фунтов на дюйм (14,3 МПа). Виден выходящий углекислый газ вдоль линии разрыва (с разрывом на высоте 10 дюймов от основания) и повреждение коррозией

Повреждения под действием водорода могут происходить в работающем котле и в результате коррозионной реакции при низких pH (см. Главу 6 «Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период»). В процессе коррозии может происходить выделение атомарного водорода, что приведет к появлению локальных низких pH. Как было указано выше, атомарный водород способен диффундировать в металл и реагировать с ним с образованием молекулярного водорода или метана. Водородная коррозия при низких pH и механическая физически идентична коррозии в условиях высоких pH. Различия здесь лишь в том, какое атомарное водорода.

Важнейшие условия, способствующие водородной коррозии

Важнейшие факторы, приводящие к повреждениям под действием водорода в результате коррозии при высоких pH идентичны тем, которые были указаны для щелочной коррозии в главе 4 («Щелочная коррозия»). Условия, способствующие повреждениям под действием водорода в результате коррозии при низких pH, идентичны тем, которые указаны для кислотной коррозии в главе 6 («Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период»).

Идентификация водородной коррозии

Определить визуально водородное повреждение в принципе невозможно вплоть до аварии. В котлах, работающих под давлением более 1000 фунтов на дюйм (6,9 МПа), следует уделить основное внимание зонам, в которых происходила коррозия при высоких и низких значениях pH.

Обычно водородное повреждение трудно обнаружить даже с применением методов неразрушающих испытаний. Несмотря на то что разработаны сложные ультразвуковые методики для обнаружения металла под воздействием повреждения под действием водорода. Определить коррозионные участки, которые следует считать в данном отношении подозрительными, помогут проверки годичными с циклами ультразвуковыми методами.

Образование раковин и водородное повреждение – происходящие в условиях низких pH, можно отличать от повреждения в условиях высоких pH, если известны химические процессы, протекающие в котловом водоподготовительных источниках загрязнения. Например, частым источником загрязнения котловой воды является утечки из конденсатора. От источника охлаждения вода минерализованную кислотную или щелочную среду создает утечки. Свежая вода из озер и рек обычно содержит растворенные вещества, которые в условиях котлованной воды подвергаются гидролизу с образованием соединений, создающих среду с высоким pH в частности гидроксида натрия. И наоборот, морская вода и вода из рециркуляционных систем водного охлаждения с традциями могут содержать растворенные вещества, которые при гидролизе образуют кислотные растворы.

Предупреждение водородной коррозии

Повреждение под действием водорода происходит при двух важных условиях – присутствие веществ, создающих среду с высокими или низкими pH, и механизм концентрирования. Для того, чтобы избежать повреждений прокотки, оба условия должны действовать одновременно.

Для уменьшения влияния веществ, создающих среду с высокими или низкими pH необходимо принятие следующих мер:

Уменьшение содержания свободного гидроксида натрия. Данную меру рекомендуют применять в случае водородных повреждений вызванных высокими pH.

Предотвращение случайного попадания регенерационных химических веществ из деминерализаторов подпиточной воды.

Предотвращение утечек из конденсатора. Благодаря мощным конструктивным механизмам, которые могут действовать в котле, утечки загрязнителей в котельное вещество незначительны. Несколько частей на миллион частей воды могут оказаться достаточными, чтобы вызвать локальную коррозию и повреждения под действием водорода.

Предотвращение загрязнения пара и конденсата технологическими потоками.

Предотвращение локального концентрирования коррозионных веществ окажется наиболее эффективным из всех мер предупреждения водородных повреждений. Но оно также и наиболее трудно выполнимо. Предотвращение кризиса пузырькового кипения, чрезмерных отложений со стороны воды и образования уровня воды (вакантии), в трубах может помочь избежать локального концентрирования коррозионных веществ.

Предотвращение кризиса пузырькового кипения. Эта мера обычно требует ликвидации мест перегрева путем тщательного регулирования параметров котла. Появление мест перегрева может происходить из-

за чрезмерного отложения или недожога топлива. Неграмотный ремонт привода горелок переводит на другой вид топлива катализаторы, дающие лишней продукцией.

Предотвращение чрезмерных отложений на стороне воды. Для устранения чрезмерных отложений на стороне воды можно периодически проводить отбор образцов труб (как правило, сверху) для измерения толщины стенок труб, с учетом количества отложений, образовывающихся в трубах. Практические указания по отбору образцов труб приведены в стандарте ASTM D882-82. Можно обратиться за рекомендациями по вопросам методики отбора к дилерам котельных.

Предотвращение образования урвня воды (ватерлинии). В жестких и сербонатаемых трубах образование ватерлинии наиболее вероятно. Их появление могут привести работы котла с чрезмерно высоким уровнем воды и, следовательно, высокие скорости и продуктивности. Образование ватерлинии может привести к тому, также при увеличении снижения давления, если давление остается постоянным. Когда давление уменьшится при сохранении давления скорости воды в котельных трубах снижаются, что приводит к увеличению ватерлинии. При сильном давлении в трубах происходит расслоение системы и вода в котельных образует сгустки или метастабильные ватерлинии.

Меры предосторожности

Повреждения под действием коррозии могут быть связаны с различными причинами. Другие механизмы, способствующие образованию разрушений, это коррозионные разрушения, вызванные гальваническими коррозионными процессами, разрушения под действием напряжения, а также (в некоторых редких случаях), силовой перелом. Может оказаться труднее выявить причины разрушения, поскольку разрушения, вызванные необходимостью отбора воды разрушения, однако, несут ответственность за некоторые их особенности.

Например, водородное повреждение почти всегда связано с образованием раковин и является тем же механизмом повреждения, что и в случаях 4 и 6. Другим видом разрушения, исключением, возможно, коррозионной усталости, которая часто начинается в отдельных раковинах, обычно не связаны с сильной коррозией.

Аварии труб в результате водородного повреждения металлов часто проявляются в виде образования в сетке трубы, примечательное явление, которое характерно для других видов разрушения.

Полная диагностика водородного повреждения может потребовать отбора проб металлов, рафинированная реакция.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 2 и главу 3. Для справки перейдите к главу 3 (Коррозия, связанная с перекрестом, главу 4 (Щелочная коррозия), главу 6 (Коррозия, связанная с изменением pH), главу 7 (Повреждение в результате коррозии), главу 8 (Коррозия, связанная с растрескиванием), главу 10 (Коррозия, связанная с растрескиванием под напряжением).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 14.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Носовая секция
Ориентация образца:	Наклонная
Срок службы, годы:	25
Программа водоочистки*	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2075 фунтов кв. дюйма (14,3 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 дюйма 51 мм

Котел, из которого была взята эта секция, показанная на Рис. 14.3, представляет собой агрегат с принудительной циркуляцией парабы в выходящий 2 5/8 млн. фунтов в 14 часов в час. Котел находился в эксплуатации с различными нарушениями в течение 2 лет.

Повреждения в часто возникали в носовой секции и в трубах свода. Была проведена полная внешняя очистка котла. Разрушение, показанное на Рис. 14.3, - одно из нескольких, которые удалось найти после очистки от окалины.

Можно также в довольно прямоугольное отверстие оставшееся после того как участок был буквально сварен из трубы. Край разрушения тоже не является идеально-цилиндрической поверхностью. Вдоль края разрушения видны многочисленные мелкие вторичные трещины.

Полное и полное изучение поверхности позволяет обнаружить с внутренней стороны трубы изменение вдоль поверхности разрушения внешнего пересекающихся участка кривых глубоких волн и углублений металла. Коррозионные участки металла, покрыты тонким слоем оксидов черного цвета железа. Глубокие углубления становятся глубокими продольными трещинами.

Микроструктурные исследования этой образцовая срединная зона котла, в ней много мелких дискретных межкристаллитных микро-разрывов. Термических изменений в структуре, вызванных перегревом, не произошло. Оксиды железа покрывающие коррозионные участки имеют ровную поверхность, несмотря на слоистую структуру.

В результате жидкой коррозионной коррозии в носовой трубе она вышла из строя из-за трещины в трубке. При анализе микроструктурных исследований (различные участки железа) в этой трубе можно было бы сказать, что локальное повреждение произошло, когда котловая вода в результате утечек из конденсатора была загрязнена солями создавшими кислотную среду (в частности хлоридами).

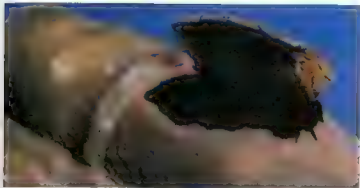


Рис. 14.4 Разрыв изгибавшийся в результате коррозии в процессе эксплуатации. Можно видеть, что разрыв произошел по границе сварного шва в направлении *Истинного направления разрыва* (стрелка).

На сварной трубе виден разрыв с толстыми краями, проходящий своим участком через весь металл на расстоянии сверху вниз. Это разрушение произошло непосредственно на сварном шве, поэтому можно предположить, что разрыв произошел из-за коррозии.

Макроструктурное исследование в виде термического анализа микроструктуры металла, полученной в качестве остаточной перемычки. Однако в стыке трубы рядом с высокими участками, находящимися в тонких дисковых межкристаллических микроструктурах. Видны еще участки, покрытые толстыми слоями плотных оксидов железа со слоистой структурой.

Образование шва и в процессе эксплуатации было связано с воздействием на поверхность равномерным коррозионным процессом, который в металлической поверхности. Концентрация этих веществ в металле в результате коррозии в результате коррозии, которое стало следствием нарушения целостности, вызванного содействием по всей сварной шве. С учетом характера окисления железа, который покрывает коррозионные участки, указывает на то, что коррозионный процесс происходил в условиях среды с низким pH, который был образован в результате концентрирования солей, содержащих кислотную среду.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 14.4

Промышленность:	Установки для производства энергосредств
Местоположение образца:	Труба опорной плиты
Срок службы, годы:	26
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане	2080 фунт кв. дюйм (14,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2,5 дюйма (63 мм),

Круглая коррозия с разрывами трубы в нижней части (Рис. 6.3 и 6.4 (стр. 6)) с порывом в 1/2 диаметра на высоте 1/2 диаметра. Это произошло через 6 месяцев после кислотной очистки котла.

Прозрачная ржавая с осадками вкраплениями окислов коррозионный участок, который в течение 10 лет находился в атмосфере, подвергавшейся воздействию большого количества следов коррозии.

Микроструктура после выщелачивания в 10% азотной кислоте, окрашенная в розовый и микроструктура. Небольшое количество коррозионного материала в стенке трубы было обнаружено после некоррозионной микроструктуры, а также микротрещины.

Визуальный вид микроструктуры трубы показывал, что разрыв не произошел из-за коррозии, а скорее был вызван дефектом металла, создавшим среду с низким pH. Избегая таких веществ, как минеральные масла, приходящие к установке, не удалось. Поскольку подлежащее исследование зоны пугало котла, оно было подвергнуто очистке от коррозии, а также заправлено, а также возможно, что оно было подвергнуто коррозионной коррозии, оставшаяся часть исследования, ретеровавшаяся с помощью трубы во время работы котла. Водородное повреждение, вызвавшее данное разрушение, не имеет толку. В принципе разрыв котла.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 14.5

Промышленность:	Установка для производства энергоресурсов
Местоположение образца:	Наружная часть топочного бара
Ориентация образца:	45°
Срок службы, годы:	25
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2000 фунт на дюйм (13,8 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3 дюйма (75 мм)

Разрыв, который произошел, показан на Рис. 14.5, стал из-за микроструктуры металла, а не из-за коррозии. Микроструктура металла была такова, что в некоторых местах металл был слишком тонким, что привело к разрыву. Кроме того, в некоторых местах металл был слишком толстым, что привело к разрыву. Кроме того, в некоторых местах металл был слишком толстым, что привело к разрыву.

Разрыв совпал с четко очерченной зоной глубоких раковин в металле на внутренней поверхности (Рис. 14.6). Волнистая поверхность зоны коррозии покрыта слоем оксидов железа.

Изучение микроструктуры не выявило никаких термических изменений. Нагревание металла до коррозионной температуры в стенке трубы было в результате микроструктуры, которая была ориентирована на микроструктуру, а также микротрещины.

Дополнительные исследования показали, что разрыв котла произошел из-за коррозии, а не из-за микроструктуры. Микроструктура металла была такова, что в некоторых местах металл был слишком тонким, что привело к разрыву. Кроме того, в некоторых местах металл был слишком толстым, что привело к разрыву. Кроме того, в некоторых местах металл был слишком толстым, что привело к разрыву.

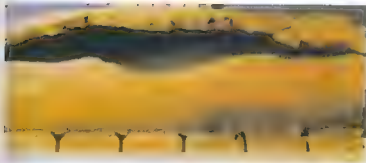


Рис. 14.5 Разрыв с уступатыми краями

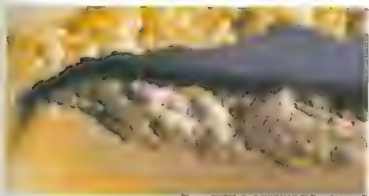


Рис. 14.6 Гладкая волнистая внутренняя поверхность трещины образовалась в результате эрозии и выветривания

Коррозионно-усталостное растрескивание

Наиболее вероятные места коррозионной усталости

Коррозионная усталость может появиться в любом месте, где действуют циклические напряжения достаточно большого величина. Коррозионно-усталостные разрушения чаще всего происходят в местах, которые работают с пиковыми нагрузками, с перерывами или в других режимах циклической работы. Быстрые запуски или остановки работы могут значительно увеличить вероятность коррозионной усталости. Некоторые серьезные проблемы, связанные с коррозионной усталостью, устранялись простым введением соответствующих изменений в скорость пуска и остановки.

Обычными местами появления коррозионно-усталостных трещин являются боковые края, груды промежуточного барьерного рессоры, пароперегреватели и экономайзеры, дросель и края перегородки (ионных) трубных экранов. Кроме того, коррозионная усталость обычна в местах прикрепления оборудования или жестких связей (например в точках присоединения к входному или выходному коллектору, затяжках и опорных стойках).

Появление трещин, также наблюдалось в канавках вдоль внутренней поверхности котельных труб, которые были лишь частично заполнены во время трещины (обычно проходили поперек канавок), в местах появления ряда «рывчатых» паровых пузырей внутри труб парогенератора, ускоренных раковин на линиях подачи (всплывших) и на трубопроводах для подачи питательной воды в сварных местах, в пазовых карманах или точках полного провала, в линиях обдувки сажи, где действовали вибрационные напряжения, и в линиях продувки.

Общие сведения

Коррозионная усталость представляет собой вид повреждения, которые могут происходить без концентрированных коррозионных способных веществ. Данный термин относится к трещинам, которые распространяются в металле в результате циклических изменений растягивающих напряжений действующих в коррозионной среде. Термин и определение приведенные выше, в применении к котлам могут ввести в заблуждение, поскольку нормальный окислитель металла до металла вполне достаточен, чтобы в присутствии значительных циклических растягивающих напряжений вызвать коррозионную усталость.

Развитие трещин происходит в следующей последовательности:

- В первой фазе циклических напряжений стенка трубы подвергается расширению. Поскольку слои оклада более хрупкие по сравнению со стенкой трубы, он может растрескиваться с образованием микроскопических трещин, проходящих сквозь слой оклада к металлу до деформации металла.



Рис. 15.1 Трещина в стенке трубы, возникшая в результате коррозионной усталости. Слой оклада был удален, и труба подверглась растяжению и сжатию. Зона растяжения расположена по направлению движения потока до момента возникновения коррозии.



Рис. 15.2 Трещина в стенке трубы, возникшая в результате коррозионной усталости. Зона растяжения расположена в направлении движения потока.

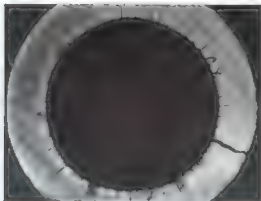


Рис. 15.3 Состояние толстых трещин, возникших в результате колоча
из толстого ствола, снятого с разрешения Наблюдательной Ассоциации
Промысловых Рыбников



Рис. 15.4 Трещины в толстом стволе, возникшие в результате колоча

- Открытая поверхность металла у корня трещины окисляется, и на ней образуется микроскопическая порозка (Рис. 15-3).
- Во время следующего цикла окисл будет иметь тенденцию разрушаться вдоль этой борозды, что приводит к ее углублению.
- С продолжением того циклического процесса клинообразная трещина распространяется по стенке трубы (Рис. 15-2), пока в ней не произойдет разрушение и ни трещина не пройдет сквозь всю толщину стенки.

Трещины всегда распространяются в направлении, перпендикулярном направлению действия основного напряжения. В результате, если главное циклическое напряжение создано колебаниями внутреннего давления, возникнут продольные трещины (Рис. 15-3). Если главное циклическое напряжение есть напряжение при изгибе, вызванное тепловым расширением и сжатием трубы, то трещины будут поперечными (Рис. 15-4). Коррозионно-усталостное растрескивание обычно происходит вблизи мест физических ограничений. Трещины могут появляться на наружной поверхности, на внутренней поверхности или одновременно на обеих поверхностях. Трещины, возникающие на внутренних поверхностях, часто сопровождаются раковинами. Усталость с раковинами служит местом концентрации напряжений и предпочтительным местом коррозионно-усталостного растрескивания.

Важнейшие условия, приводящие к коррозионно-усталостному растрескиванию

Циклические напряжения при растяжении и благоприятная среда для окисления открытой поверхности металла служат двумя основными условиями, которые благоприятствуют коррозионно-усталости. Двумя обычными точечными циклическими напряжениями при растяжении служат циклически меняющееся внутреннее давление и тепловое расширение и сжатие при изгибе или ограничении.

В дополнение к среде, в которой происходит окисление открытой металлической поверхности, есть и другие факторы, способствующие коррозионно-усталостному растрескиванию. Это уровень pH и содержание растворенного кислорода. Раствор при низких значениях pH или при очень высоком содержании растворенного кислорода может привести к острому коррозии (платину). Иллюстрации будут существовать как мера концентрации напряжений и появления коррозионно-усталостных трещин.

Идентификация коррозионно-усталостного растрескивания

Коррозионно-усталостные трещины обычно бывают прямыми и без разветвлений. Они имеют иглообразную или клинообразную форму и распространяются перпендикулярно поверхности металла. Они часто располагаются в виде многочисленных параллельных трещин (Рис. 15-3 и 15-4). Это не малое количество делает их трудно распознаваемыми без применения тщательного обследования. Иногда они могут иметь вид лишь мелких впадин в слое магнетита. Как правило, они распространяются по поверхности только на небольшое расстояние. Передко коррозионно-усталостные трещины развиваются одновременно в двух или нескольких частях одного и того же участка.

Для распознавания трещин используются методы неразрушающего контроля: акустический, ультразвуковой и рентгенографическое обследование, вставлю и магнитно-пороскоповое дефек-оскопение.

Предупреждение коррозионно-усталостного растрескивания

Предотвращение или уменьшение степени коррозионно-усталостного растрескивания осуществляют путем уменьшения циклических напряжений при растяжении и контроля над условиями окружающей среды, а также путем реконструкции котла. Уменьшение времени или полная циклическая циклической работы котла, прощение периодов пуска и остановки могут помочь в предотвращении или уменьшении возможности появления коррозионно-усталостного растрескивания.

Устранить процессы окисления, происходящие на верху влозь возник-а их трещины, невозможно. Это окисление будет происходить и при очень низких уровнях содержания в воде растворенного кислорода. Регулирование величин pH и борда с плохими качествами растворенного кислорода могут оказаться полезными для предотвращения питтинговой (явочной) коррозии, что исключит появление вероятных мест коррозионно-усталостного растрескивания.

В случаях устойчивого коррозионно-усталостного растрескивания, с которым трудно бороться, могут потребоваться такие меры, как оконтуривание сварных швов и реконструкция мест прикрепления труб для устранения или уменьшения ограничения для термического расширения и сжатия.

Меры предосторожности

Полностью сформировавшийся в результате коррозионно-усталостного растрескивания излом обычно имеет то вставе края и характеризуется очень небольшой пластичностью. Таким изломом также можно принять за другие виды разрушений, например за разрушение под действием напряжений, за растрескивание под действием водородного повреждения, за коррозионное растрескивание под напряжением и за некоторые результаты seriously, о перетраве. Коррозионно-усталостные трещины часто трудно заметить, поскольку они запонены и потными оксидами железа. Иногда они выглядят как короткие, неглубокие канавки в слое магнетита, покрывающем трубу.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 2 («Длительный перегрев»), главу 3 («Кратковременный перегрев»), главу 14 («Повреждения под действием водорода») и главу 16 («Коррозионное растрескивание под напряжением»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 15.1

Промышленность:	Установка для производства энергоносителей
Местоположение образца:	Трубопровод, подогрева охлаждающего пара в 20 дюймах от нагнетания турбины
Ориентация образца:	Горизонтальная
Давление в барабане:	350 фунт на дюйм 2.4 МПа
Характеристики труб:	Наружный диаметр 14 дюймов 356 мм, бесшовная

Трубопровод, который был Р-154 был транзитом установлен в 1-й фазе, 3-й фазе, с обеих сторон находится в зоне высокого давления. Разрядки не производились, но в некоторых местах были обнаружены разрывы в одностороннем направлении. Поперечные разрывы и разрывы в направлении движения были обнаружены в местах, где давление Р-154 было выше, чем в других частях трубы. В некоторых местах были обнаружены разрывы в направлении движения.

Микрографические исследования показали обнаружение в количестве трубных А-образных разрывов в месте соединения внутренней и внешней трубки. Самые большие разрывы проникли в толщу трубы на 75%.

Трубопровод в этом месте был обнаружен, что было деформировано, трубопровод. Между разрывами, которые были обнаружены, были обнаружены разрывы в направлении движения, которые были обнаружены в направлении движения. Разрывы были обнаружены в направлении движения, которые были обнаружены в направлении движения.

Самые большие разрывы в направлении движения были обнаружены в направлении движения. Самые большие разрывы в направлении движения были обнаружены в направлении движения. Самые большие разрывы в направлении движения были обнаружены в направлении движения.



Рис. 15.5 Поперечные трещины в направлении движения в направлении движения

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Дренажный трубопровод из коллектора промежуточного пароперегревателя
Характеристики труб	Наружный диаметр 1 7/8 дюйма 48 мм низколегированная сталь

Глубокие перебои на трещины и разрывы расположены в четко определенном месте на внутреннем диаметре вокруг одного из концов дренажной линии (Рис. 15.6, а, б). Трещины и разрывы в других местах, кроме указанного, отсутствуют.

Микрографические исследования выявили классические прохождения сквозь стенку разрыва, вызванные термической усталостью. Кроме того, обнаружены признаки умеренного перегиба.



Рис. 15.6 Трещины в результате термической усталости на внутреннем диаметре

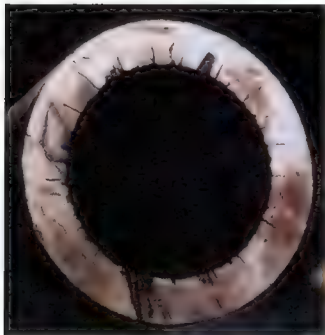


Рис. 15.7 Поперечное сечение, проходящее через трещины

Термическая усталость может возникнуть даже при быстром охлаждении. Быстрое охлаждение поверхности металла создает линейные температурные напряжения, которые могут вызвать образование перекрестных трещин, аналогичных показанным на этих рисунках. Быстрое охлаждение может быть вызвано локализированным действием водяных роботов, трубопровода. Для решения этой проблемы необходимо устранить причины быстрого охлаждения.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 15.3

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Трубы на передней стенке вокруг первичного ввода воздуха (котел-утилизатор)
Ориентация образца:	Наклонная
Срок службы, годы:	15
Давление в барабане:	900 фунт кв. дюйм (62 МПа,
Характеристики труб:	Наружный диаметр 3 дюйма (76 мм) с заклепками

Трещины показаны на рис. 15.8–15.9 близ основания на участке вокруг первичного ввода воздуха. Эти короткие поперечные трещины были особенно заметны вблизи основания стальной (рис. 15.8). Измерения показали, что поперечные трещины на глубину 15–20% первоначальной толщины стенки трубы.

Микроструктурные исследования поверхности выявили глубокие каналообразные разряды, направленные к наружной поверхности и глубокие острые трещины на внутренней поверхности.

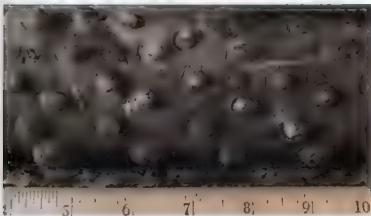


Рис. 15.8 Поперечный трещины у основания на стенке трубы из стали

Поперечная ориентация трещин и разрывов указывает на то, что они возникли в результате пластических деформаций труб вследствие термических расширений и сжатий. Проявление трещин у оснований шпеклов может объясняться разницей в деформативности окисной корки и в их реакции на термические расширения и сжатия. Внешний вид таких коррозионно-усталостных трещин на трубах с включениями послужил основанием для описания этого явления с помощью термина «слоновая кожа». Опыт показывает, что такой вид трещин встречается только при очень высокой интенсивности, которые могут оказаться в трубах, не покрытых рыхлым



Рис. 15.9 Поперечные трещины вблизи включений (центр). Увеличение в 4,5

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 15.4

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Пароперегреватель абразио-выходного коллектора энергетического котла
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	5
Давление в барабане:	Координированная фосфатная
Характеристики труб:	12%O фунт/ав. дюйм (8.6 МПа) Наружный диаметр 13.4 дюйма (44 мм) низколегированная сталь

Толщина стальной кольцевой лентой показана на Рис. 15.10. В результате аварии пароперегревателя в котле Boiler пытаясь остановить процесс внутреннего и внешнего поверхностей рядом с изломом позволяло обнаружить ориентированные трещины (Рис. 15.11). Микроструктурные исследования с помощью твердого металла и изломов и изломов в изломной серии впервые выявили растрескивание трещин. Кольцевая ориентация трещин показала, что они развивались под действием изгибающего момента, при котором они развивались под действием изгибающего момента и сжатия труб.

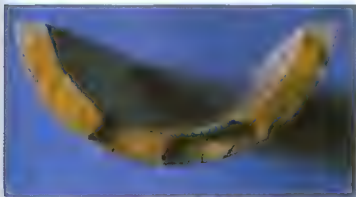


Рис. 15.10. Гибкая труба, изломанная в результате аварии

Коррозионное растрескивание под напряжением

Места преимущественной коррозии

В принципе коррозионное растрескивание под напряжением может произойти в любом месте, где одновременно присутствуют коррозионные вещества и со временем достаточно большие растягивающие напряжения. Благодаря более совершенным программам поддержания и в улучшенной конструкции котла появившиеся трещины в результате щелочной коррозии под напряжением происходили не так часто, как это было много лет назад. Однако в водных трубах, трубах пароперегревателей и промежуточного пароперегревателя все еще иногда происходит коррозионное растрескивание под напряжением. Оно может также произойти в таких находящихся под напряжением деталях паромотора, как болты (Рис. 16.1).

Общие сведения

Термин коррозионное растрескивание под напряжением относится к разрушению металла, вызванному синергическим взаимодействием растягивающего напряжения и определенного коррозионного вещества, к которому металл чувствителен. Растягивающие напряжения могут быть приложенными, в частности внутренним давлением, и/или остаточными (например в сварных



Рис. 16.1 Болт изового конденсатора, разорванный в результате щелочного коррозионного растрескивания под напряжением. Отчетливо видны характерные при знаке хрупкого излома (с разрешения Национального института инженеров по коррозии)

иных). В котельных системах углеродистая сталь особенно чувствительна к концентрированному гидроксиду натрия и нержавеющей сталь к концентрированному гидроксиду натрия и к концентрированным хлоридам.

Для коррозионно-механического растрескивания под напряжением совсем не обязательно мощное агрессивное воздействие на металл и в действительности такое воздействие не сопровождается коррозионным растрескиванием. Совместное воздействие концентрированного гидроксида натрия, некоторого количества растворенного диоксида кремния и растягивающих напряжений может приводить к образованию у углеродистой стали нарывных межкристаллитных трещин. (Рис. 16.2) При разрастании трещин прочность оставшегося целым металлом уменьшается и в определенный момент происходит образование хрупкого излома с толстыми краями.

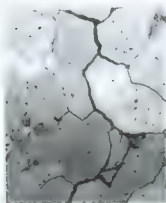


Рис. 16.2 Щелочное коррозионное растрескивание под напряжением с образованием непрерывных межкристаллитных трещин, пронизывающих сквозь стальную трубку, усиленную в 400 раз

Важнейшие условия, приводящие к коррозии

Существуют два основных фактора, которые в условиях котла приводят к коррозионному растрескиванию под напряжением. Во-первых, металл в данной зоне должен находиться под воздействием сильным влиянием растягивающих напряжений. Напряжения могут быть следствием действующих сил или остаточными. Во-вторых, должно присутствовать концентрирование на участке с металлом под напряжением агрессивного коррозионного вещества. Для углеродистой стали это гидроксид натрия, для нержавеющей стали такими веществами могут быть гидроксид натрия или хлориды. Концентрирование таких веществ может происходить вследствие таких условий, как быстрое изменение режимов, рассмотренных в главе 4 — Щелочная коррозия. Концентрирование коррозионного вещества может также произойти в результате небольших утечек.

Ситуация щелочного коррозионного растрескивания под напряжением в металле котла работающего при температурах ниже 340°F (149°C), очень редка. Растрескивание может быть вызвано концентрациями гидроксидов натрия всего лишь около 5% , а при концентрациях в пределах $70\text{--}40\%$ растрескивание резко возрастает.

Идентификация коррозионного растрескивания под напряжением

Разрушения, вызванные коррозионным растрескиванием под напряжением, независимо от степени пластичности металла всегда приводят к образованию разрывов с остроконечными краями. Для таких трещин часто бывает характерны разветвления. Пока разрушение не произошло, коррозионное растрескивание под напряжением трудно заметить невооруженным глазом, поскольку сильно образуются очень мелкие и узкие трещины. Иногда на месте возникновения трещин можно видеть признаки присутствия концентрированного гидроксидов натрия в виде обесцветных выделений или отложений или кристаллического материала.

Предупреждение коррозионного растрескивания под напряжением

Для решения проблем, связанных с коррозионным растрескиванием под напряжением, необходимо взять под контроль растягивающие напряжения и устранить концентрирование коррозионных веществ.

Растягивающие напряжения могут быть созданы работающими и релаксировавшими остаточными напряжениями. Напряжения в работающих агрегатах вызваны окружающими напряжениями, такими, как внутреннее давление и напряжения трения, и создают термические расширения и сжатия. Обычно окружающие напряжения подается контролем с трудом, поскольку содержащиеся вещества под давлением требуют окислительных котловых труб и другого оборудования. Однако напряжения трения могут быть уменьшены или устранены путем изменения рабочих параметров или конструкции самого оборудования.

Термин остаточные напряжения относится к тем напряжениям, которые присутствуют в самом металле. Они являются результатом таких процессов изготовления, как сварка, шпоны и изгибы труб. Остаточные сжимающие напряжения могут также сохраняться после процесса их изготовления. Эти напряжения могут быть снижены путем применения правильных методов отжига.

Наиболее эффективным способом уменьшения или исключения коррозионного растрескивания под напряжением является предотвращение образования конденсированных коррозионных веществ. Первыми шагами должны стать предупреждение кризиса пылевого загрязнения, борьба с образованием лавин реальных поверхностей значительных отложений и с образованием лавин пара и воды в компонентах оборудования, принимающих большие тепловые потоки. Прочие меры могут состоять в проектировании усталостной стойкости и конструкции пачки в среде из конденсаторов, теплообменников, технологических линий и систем деминерализации со щелочной регенерацией в предотвращении загрязнения воды, вводимой для предотвращения перегрева и для охлаждения, а также в использовании хлоридов в предотвращении усталости в морской воде.

Для уменьшения коррозионного растрескивания под напряжением наиболее успешным оказалось применение ингибиторов в частности нитрата натрия или комбинация нитрата натрия с одним из множества органических веществ. Может оказаться полезной также и координированная профилактическая программа водоподготовки, которая разработана для предотвращения образования свободной гидроксидной щелочи.

Меры предосторожности

Трещины, образующиеся при коррозионном растрескивании, обычно трудно идентифицировать при визуальном осмотре. Присутствие таких трещин можно обнаружить с помощью светного магнитно-порошкового дефектоскопического и ультразвукового обследования опасных зон. С учетом того факта, что эти трещины обычно очень узкие, должно быть увеличено время применения веществ, применяемых при визуальном дефектоскопическом исследовании.

Понятно, что коррозионное растрескивание под напряжением можно принять за другие виды растрескивания с образованием щелей с полостями краями, например за повреждения под действием водородной коррозионной усталости, но исключать некоторых видов серьезного перегрева. Для подтверждения знания о коррозионном растрескивании под напряжением необходимо металлографическое исследование.

Сопутствующие проблемы

См. также раздел, озаглавленный «Разрушение при ползучести» в главе 7 («Долговременная прочность»), главу 3 («Кратковременная прочность») и главу 14 («Повреждение под действием водородной коррозии») и главу 15 («Коррозионно-усталостное растрескивание»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 16.1

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Линия подачи пара в систему обдувки сажи (котел-утилизатор)
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	15
Программа водоочистки:	Удаление кислорода
Давление в барабане:	400 фунт на дюйм ² (2,8 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 3/8 дюйма (60 мм) нержавеющая сталь 304

На Рис. 16.3 показан отборочный образец трубы-провода из нержавеющей стали для металлографического анализа, в котором возникли трещины. Разрушение такого типа можно попытаться отнести к охладному растрескиванию, поскольку через них может выходить пар в окружающее пространство.

В трубопроводе образовалось несколько трещин, totaling краями толщиной до 15 дюймов (15 мм). Следует отметить, что трещины были достаточно широкими, но с разошедшимися в стороны краями, что необычно для коррозионного растрескивания под напряжением.

Благодаря таким визуальным и микроструктурным исследованиям можно установить, что трещины вначале появились на внутренней поверхности. Микроструктурные исследования выявили также наличие зерен в центре толщины.



Рис. 16.3 Крутая продольная трещина в трубопроводе для обдувки сажи из нержавеющей стали. Можно видеть, что края трещины широкие и разорваны.



Рис. 16.4 Продольная трещина в трубе котлоагрегата вдоль стороны 90°-треугольного ее угла. Подобная же трещина проходит вдоль противоположной стороны

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 16.3

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Пароперегреватель (котел-утилизатор)
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	11
Программа водоочистки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт/кв. дюйм (8,3 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 дюйма (51 мм) нержавеющая сталь 304
Средство обогрева:	Черный щелок

Внешний парокрепительная камера часто подвергается разрушению вала, показанного на Рис. 16.5а, 16.6. Внутренние трещины распространяются в направлении сварного шва. На Рис. 16.6 видны также стрелы, указывающие на трещины.

Микроструктурные исследования показали, что разрушение произошло в результате трещин, проходящих через кристаллы. Разрыв стал по мере трещины, образование котловых трещин на внутренней поверхности. Трещины были сосредоточены в зоне действия тепла в непосредственной близости от сварного шва.

Это разрушение стало следствием щелочного коррозионного растрескивания под напряжением. Нестойкость оксидов натрия (Na_2O) и калия (K_2O) была связана с пароскоростью. Напряжения были достаточно высокими, сохранялись, как и раньше, как показывает характер кольцевого растрескивания трещин по мере их отдаления от сварного шва. Трещины от напряжений, создаваемых в этой зоне давлением, были бы направлены вдоль трубы.

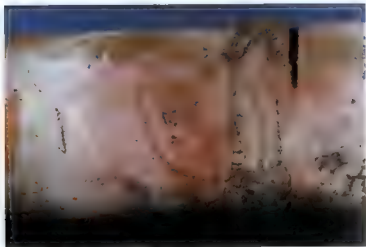


Рис. 16.5 Вид с воздуха с высоты 100 м на поверхность восточной части озера Байкал. Видны многочисленные красные цветы

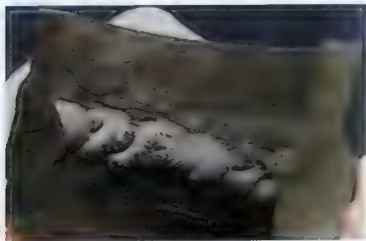


Рис. 16.6 Вид с воздуха с высоты 100 м на поверхность восточной части озера Байкал. Видны многочисленные красные цветы



Рис. 16.7 Глибинная трещина, появившаяся в результате старения в жару и под давлением в детали — роторе турбины газовой турбокомпрессора. Можно видеть ветвление трещины на уровне сварочного шва, вызванного дефектом

Глава 17

Эрозия

Введение

Основных мест появления эрозии в котле четыре: сторона топки, система до котла, система после котла и сторона воды и пара.

Механизмы процессов со стороны топки вызываются начальными повреждениями, связанными с эрозией. Я могу быть далее подразделены на эрозию, связанную с обдувкой сажи с воздействием дара и лучей топки, с соударением с мелкими частицами и с падением плаком. Иногда серьезной эрозии подвергается котел с псевдоожиженным слоем и другие котлы специального назначения. Котлы, работающие на древесной стружке и биомассе, часто подвергаются эрозии из-за действием таких загрязнителей, как песок и другие посторонние механические примеси, содержащиеся в топливных газах. Подобные проблемы, связанные с эрозией со стороны топки, осложняют эксплуатацию мусоросжигательных печей. Поскольку механизмы, действующие со стороны топки, приводят к появлению основной части связанных с эрозией повреждений, каждый из этих механизмов будет детально рассмотрен.

Эрозионное разрушение металла на поверхностях со стороны воды происходит главным образом в трубах. Однако иногда это случается. Износ происходит на внутренних поверхностях и на посторонние предметы, оказавшиеся внутри трубы могут нарушить поток воды, вызвав турбулентность и как следствие, износ поверхности.

Система до котла ограничена главным образом системой питательной воды. В зонах после котла эрозия часто происходит в турбинах. Подвержены эрозии также и соглы горелок, трубы сдувки, трубопровод возврата конденсата и некоторые другие детали оборудования котла.

Эрозия от сажеобдувочного аппарата

Места, наиболее часто подвергающиеся эрозии

Как показывает термин эрозия от сажеобдувочного аппарата, повреждения оказываются в местах вблизи или на пути сброса из аппарата. Часто воздействию подвергаются трубы кароперегревателя. Обычные места по-



Рис. 17.1. Сильная эрозия поверхности в месте сброса из аппарата сажи. В центре — отверстие, в котором находится труба. Вокруг отверстия — область, подверженная эрозии. В центре — отверстие, в котором находится труба. Вокруг отверстия — область, подверженная эрозии.

Идентификация эрозии

Подвергавшаяся эрозионному разрушению поверхность металла, как правило, имеет углубления и обычно образует выпячивания в определенном направлении плоские участки, ограниченные с обеих сторон краями изгибного металла. Если рассмотреть поперечное сечение трубы, то труба выйдет как обстрелянная в длину (Рис. 17.1 и 17.2). Подобные трусы существуют кажутся и верояные следы воздействия, если в потоке газа четко выделяются завихрения и каналы.

Поверхность металла имеет гладкий или шероховатый вид. На поверхности может присутствовать окисная пленка или слой оксидов железа, либо он будет полностью отсутствовать, если воздействие в этом месте не было. Если воздействие происходило давно, то на поверхности будет окисным (как это часто бывает с самодвижущимися аппаратами), углубленную поверхность будут покрывать оксиды и отложения. Окислы и отложения обычно более толстые, чем на досадных неповрежденных поверхностях. Более тщательное визуальное обследование поверхности поверхностей часто позволяет обнаружить очень неглубокие, но разнообразные бороздки, трещины, выветривания в поверхности металла. Рис. 17.3 и 17.4. Бороздки на поверхности будут направлены перпендикулярно потоку пара через поверхность.

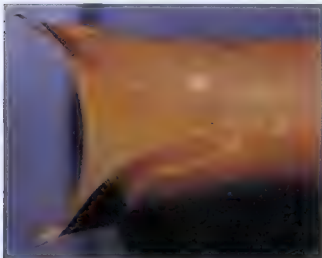


Рис. 17.3. Аэрозольная эрозия металла, вызванная воздействием пара в течение длительного времени. В центре фотографии видна эрозия, вызванная воздействием пара. Вокруг эрозии виден слой оксидов, который образовался в результате воздействия пара.



Рис. 17.4 Прогрессирующая эрозия, вызванная воздействием пара на поверхность жаровни котла. В центре жаровни, где происходит наиболее интенсивное кипение, наблюдается наиболее сильная эрозия, которая распространяется по всей поверхности жаровни

Агрессивное воздействие обычно начинается у отверстия для клапана дажеобдувочного аппарата и продолжается вплоть до края создаваемого аппарата с уменьшением интенсивности по мере увеличения расстояния. Часто аппарат бывает неравномерно центрирован, прямо закреплен в одном положении или вдувает пар с высокой влажностью из-за уноса воды.

На поврежденных участках труб с внутренним давлением воздуха обычно отсутствует коррозия. Разрыв обычно бывает продольным, то есть также с осевой и радиальной ориентацией, изменяющейся на поверхности клапана. Края разрушения тонкие и неровные.

Предупреждение эрозионного разрушения

Для уменьшения вредных последствий эрозии устьям дажеобдувочного аппарата необходимо обеспечить оптимизацию его работы, обеспечить его правильное пространственное положение и выполнение им предусмотренных функций. Рекомендуется проводить периодическую проверку положения сопла и его корректировку. Не исключать возможность вдуваемого пара, который тем соответствующего нагрева пара и одновременного слива остатков воды из трубопроводов для подачи пара. Применение методов металлизации, наплавки и плазменного напыления позволяет увеличить толщину стенок на поврежденных участках и тем самым продлить срок службы труб. Однако процесс нанесения покрытий может несколько уменьшить теплопередачу в этих местах и в целом не решает основную проблему.

Меры предосторожности

Повреждения, вызываемые сажеобразующим аппаратом, могут походить на коррозию, вызываемую мазутой или углекислотой, а также эрозию под действием летучей золы. Если на углеродистых стенках трубы присутствует значительное количество сажевых отложений, повреждение могло бы быть вызвано коррозией под действием мазутой или кремниевой кислоты, а также если на этих трубах имеются другие характерные признаки эрозии. Особенно вероятна эрозия котлов, работающих на дровах, балласте и других отходах, поскольку в продуктах сгорания могут быть песок, грязь и цементная пыль, уносимые сходящими газами. Агрессивное воздействие, вызванное углеводородами, содержащимися в газе, усиливает воздействие сажеобразующего аппарата. Правильная диагностика повреждений в этом случае требует, чтобы оно описательно было связано с типом оборудования.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 9 «Коррозия под действием мазутой топлива», главу 10 «Коррозия под действием кремниевой кислоты топлива», а также разделы данной главы, озаглавленные «Подрезка паром из соседних поврежденных труб», «Эрозия под действием летучей золы», «Эрозия под действием угольных частиц» и «Эрозия от падающего балласта».

Подрезка паром из соседних поврежденных труб

Места наиболее вероятных повреждений

Повреждения, вызываемые воздействием трусов, могут быть обнаружены в любой части котельной системы. Подрезка бывает наиболее характерной при высоких внутренних давлениях и относительно высоких температурах. Поэтому чаще всего повреждаются стальные разрывные барабаны, расположенные в промежуточных паропередачах. В котлах с вертикальными трубами все время присутствуют поврежденные трубы. Обычно повреждение весьма локализировано и бывает самым разрушительным только в том месте, где труба имеет близлежащую поврежденную трубу. Иногда, если первоначальное повреждение во время не обнаружено, авария в одном месте может привести к последующим, иногда очень значительным разрывам труб.

Общие сведения

Повреждение и разрывы в виде выброса котлов, протекающих с высокой скоростью, обычно вызывают подрезку паром расположенных вблизи труб. Механизм потери металла по существу тот же самый, что и в случае действия сажеобразующего аппарата. Однако процесс будет более локализован, и разрушение происходит очень быстро.

Важнейшие условия, способствующие эрозии

Давление выбрасываемых потоков и близость повреждаемых их воска к трубе отрезают по генеральной во матах, а также являются разрушения. Не

тесноту, разрываний уже начинается с повышением давления (следовательно, и температуры) и уменьшением расстояния от объектов разрываний

Идентификация эрозии

Подвергавшиеся разрушению поверхности и тогда называют поврежденными под действием сажеробушного аппарата (см. раздел озаглавленный «Эрозия и сажеробушного аппарата»). Поверхности, находящиеся в непосредственной близости к поврежденным грудам с высокой вероятностью приобретут некоторую во властость с канавками (Рис. 17.5 и 17.6). Неравномерность разрушения растёт с уменьшением расстояния до источника эрозии. На поверхностях, недавно подвергшихся эрозии, практически отсутствуют окислы и отложения. На них обычно образуются тиннообразные или бугорчатые или бороздки, и они приобретают волнообразные очертания. Часто повреждения могут быть непосредственно связаны с разрушениями, наблюдаемыми на протяжении жизни прямой видности.

Предупреждение подрезки паром

Поскольку подрезка паром происходит в результате других нагревательных повреждений (глубина подрезки может оказаться в любом месте котла), то практически невозможно принять меры для предотвращения конструктивных повреждений. Единственным способом борьбы с разрушениями может стать уменьшение вероятности разрушения.

Меры предосторожности

Подрезка паром обычно возникает независимо от того, связана с другим или является другим повреждением. Однако такое повреждение иногда можно принять за повреждение под действием других видов эрозии со



Рис. 17.5 Подрезка паром поверхности котла. На рисунке видно, что поверхность котла, подвергшаяся воздействию пара, имеет вид, который можно было бы описать как «песчаный». Скорость эрозии может быть оценена по глубине эрозии. Скорость эрозии может быть оценена по глубине эрозии. Скорость эрозии может быть оценена по глубине эрозии.



Рис. 17.6 — поврежденная труба котла. В результате коррозии диаметр стальной трубы уменьшился настолько, что в трубе образовались сквозные отверстия. Труба была извлечена из котла Канавки после того, как труба была снята с котла, покрылась ржавчиной.

с органикой, включая действие «стучащего» потока твердых частиц и надвижного потока. Кроме того, после того как начнется утечка из поврежденной трубой затекания в пространство между поврежденными трубами могут появиться явления выщелачивания, связанные с образованием и распространением быстрой коррозии трещиной. Пример 17.10:

Сопутствующие проблемы

См. также разделы данной главы, озаглавленные «Эрозия от сажеобразующего дымарата», «Эрозия под действием летучих зольных», «Эрозия под действием угольных частиц» и «Эрозия от жидкого шлака».

Таблица 17 1 Проектная скорость топочных газов (фут/с или ~ 0,3, м/с) через чисто безнапорные зоны в трубных пучках, которая обеспечивает предотвращение эрозии, вызываемой летучей золой

Режим горения или вид топлива	Отражатели	
	Многопроходные	Однопроходные
Пылевидный уголь	75	75*
Топки с распределителем	50	60
Топки с цепным колосником (эквивалент)	60	75
Топки с цепным колосником (кокосовая мелочь)	60	75
Топки с цепным колосником (обыкновенное топливо)	100	100
Топки с нижней подачей топлива	75	100
Домашний газ	75	100
Циклонная топка	-	100
Деревянные или другие отходы		
- Песок	50	60
- Цементную пыль		45
- Багассу	60	75

* Для котлов на пылевидном угле при сжигании топлива, содержащего более 40% золы, в пересчете на сухое вещество, максимальную скорость через безнапорные зоны следует ограничить величиной 65 футов (19,5 м/с). Для котлов на пылевидном угле, у которого летучая зола имеет известную тенденцию вызывать абразивный износ (скорее всего или при радио-активных углях), максимальную скорость через безнапорные зоны следует ограничить величиной 45 футов (13,5 м/с).

ИСТОЧНИК: с разрешения Babcock & Wilcox, *Steamboiler Engineering and Practice* (содержание и использование), Babcock & Wilcox, New York, 1922.

Важнейшие условия, способствующие эрозии летучей золой

Разрушение металла под действием эрозии увеличивается с ростом твердости частиц, скорости потока и содержания золы. Из всех этих факторов наиболее важны скорость потока и содержание золы в газах (Рис. 17.7). Потери от эрозии увеличиваются с ростом угла, под которым происходит соудар-

рение газового потока с поверхностью металла. Прямой удар летучей золы причиняет больший вред, чем скользящий. С увеличением температуры части металла от эрозии уменьшаются. Поскольку твердые частицы становятся мягче.

Эрозионное воздействие зависит также от размеров, твердости и состава твердых частиц. Частицы размером более 0,001 дюйма (0,025 мм) и также же с высоким содержанием силиката алюминия и кремния вызывают больше и специфичную эрозию в сравнении с более высокими их твердостью и кинетической энергией.

Идентификация эрозии летучей золой

Эрозия под действием летучей золы вызывает образование гладко-отполированных поверхностей. В некоторых случаях на поверхности остаются следы пераши-марше-го потока и образуются канавки в результате захватывания вокруг кусков дыма, окислов, крошечных и т.д. (Рис. 178). В экстремальных случаях может даже произойти разрушение. Эрозия может быть локализованной или обширной.

Отличить эрозию под действием летучей золы от других видов эрозии со стороны точки можно при наличии дополнительных данных.

Важную информацию для определения мест в котле, где может произойти эрозия, дают сведения о масштабах тожения, температур, количестве унесенной золы, скорости топочного газа. В некоторых случаях эрозии с окислами от тожения со стороны точки объясняют значительные толщине, что позволяет его отличить от эрозии, вызванной коррозией под действием углеродной или магнезитовой пары, которая от дожигания и трения коррозии незначительны в других количествах. Никакого химического воздействия, которого можно было бы ожидать при коррозии из-за хлоридом концде-хлоридов. Когда разрушения уже разразились они обычно имеют тонкие края. Более тщательный осмотр разрушенного участка часто позволяет обнаружить углубление и разрушенную поверхность с ее следов перепада и коррозии. Мета-графическое исследование может выявить микроскопическую пластическую деформацию углублений на поверхностях в результате их соударения с твердыми частицами с высокой скоростью.

Предупреждение эрозии

Для уменьшения эрозии под действием летучей золы необходим системный подход, который включает проверку правильности функционирования теплотворных пылеуловителей, прочностных покрытий и прочие действия. В экстремальных условиях может потребоваться реконструкция всего котельного оборудования. Конечно, ограничить повреждения можно путем уменьшения количества и скорости летучей золы. В экстремальных случаях может потребоваться перемена топлива, не образующее агрессивной эрозионной золы. Выявление нагрузок и избыточных воздушных масс, приводящих к скорости топочных газов, следовательно, и эрозии, не исключение.

Образование пылевых способствует эрозии под действием летучей золы, выпадая каталитическое движение газов и увеличенная захватывания. Следовательно, добавки в топливо и оо-мывающие могут уменьшить пыле-

формирование. Для более равномерного распределения тепловых газов и следовательно и летучей золы используются детекторы. Однако там, где поток газовых газов проходит сверху, рубильные трубы горизонтально, детекторы обычно отсутствуют. Для предотвращения попадания кусков шлака в горизонтальные трубы могут использоваться специальные ограждения. В некоторых местах, где эрозия наиболее агрессивна, успехом можно применять «кранирование» или нанесение металлических покрытий.

Меры предосторожности

Эрозия под действием летучей золы наносит также другие виды эрозионных повреждений, например эрозию, вызванную рабочей сажеобразующей парой, водным ударом утечек из близлежащих труб, эрозию угольными частицами. Газовым ударом, а также воздействием углеродистых и минеральных пыли. Коррозию на холодном конце также можно приписать эрозии, вызываемую летучей золой. Для правильной диагностики повреждений важно определить наиболее вероятные механизмы разрушений и хорошо знать работу котла.

Сопутствующие проблемы

См. выше раздел «Меры предосторожности»

Эрозия под действием угольных частиц

Места преимущественной эрозии

Чаще всего данному виду эрозии подвержены водоохладимые трубы, которые граничат с цилиндрической камерой сгорания с циклонными угольными горелками. Не полностью сгоревшие частицы угля могут также ускорить эрозию вызываемую летучей золой в парокрепительных и жарных трубах. Такая эрозия обычно в котлах установок для производства сверхкритических

Общие сведения

Эрозия чаще всего происходит в трубах, граничащих с циклонной горелкой. Эрозия становится ярко выраженной, когда повреждены или изношены основные внешние покрытия или интенсиональные обкладки труб и обнажены незащищенные поверхности. Угольные частицы движутся со скоростями до 300 футов (90 м/с), например в котельных системах установок для производства сверхкритических, соударяются со стенками труб, что вызывает их быстрый износ. Такие повреждения со внешнего виду похожи на эрозию под действием летучей золы.

Важнейшие условия, благоприятствующие эрозии угольными частицами

Разрушение внешнего покрытия и изношенности обкладок увеличивает масштабы эрозии. Угли с низким содержанием кремния приносят

меньше вреда

Идентификация эрозии угольными частицами

В большинстве случаев диагностика повреждений под действием угольных частиц очень проста. Повреждения очень похожи на асбестовые, имеют форму трещин, переходят у циклонной горелки или рядом с ней, разрушен огнеупорное или невоспламеняемое покрытие. Выявить поврежденные зоны и места разрушения огнеупорного покрытия обычно можно с помощью простого осмотра.

Предупреждение эрозии угольными частицами

Частые проверки и неравномерное температурное обслуживание огнеупорного футеровочного слоя от краев помогут избежать основные повреждения.

Меры предосторожности

Не все подвергнутые воздействию трубы требуют обязательной замены. Однако после того как было обнаружено повреждение трубы, необходимо осмотреть для определения толщины стенок.

Сопутствующие проблемы

См. обсуждение в разделе «Эрозия под действием жидких зол» даны основные главы.

Эрозия под действием падающего шлака

Места повреждений

Данные виды повреждений редки и обычно обнаруживаются на поверхности труб, расположенных вблизи входов в печь, топки крупных котлов, откуда могут направляться перекрестки в зонный бункер. Повреждения в основном проявляются вблизи боковых экранов, где в боковых отсеклах накапливается шлак, если вальцовочно-доковочная обработка больше вероятна, так можно обнаружить данные участки.

Общие сведения

Эрозия особенно вызывается струей шлака, падающей сверху. Частицы ударяются о наклонные трубы, что и вызывает их повреждение. Если падают крупные куски шлака, они могут образовывать в трубах вмятины и трещины.

Важнейшие условия, способствующие эрозии падающим шлаком

Масштабы повреждений зависят от количества падающего шлака и скорости его падения, а также от падения шлака. Обращающиеся в шлаке частицы падают с большей скоростью и падают на трубки и на валы.

сокими скоростями топочных газов, сжижающих уголь с обрызгиванием шлака с высоким содержанием азота и хлора, имеющего низкие температуры топочных газов, характеризующиеся жесткостью термических нагрузок и/или высокими температурами труб. В этих случаях эрозия может легко обрушиваться.

Идентификация эрозии падающим шлаком

Эрозия под действием падающего шлака приводит к образованию ямочек и трещин на наклонных трубах. При ударах падающих с большой высоты крупных кусков шлака по поверхности труб на них могут образоваться вмятины и деформации. Микрокавитационное повреждение часто обнаруживает пластическую деформацию, сопровождающую повреждение.

Предупреждение эрозии падающим шлаком

Уменьшение шлакообразования приводит к уменьшению указанных повреждений. Для этого может потребоваться переход на другой сорт угля. Чем ниже температура плавления коксового зольного остатка, тем ниже интенсивность шлакообразования. Применение химических добавок к топливу может также снизить верооятность шлакообразования. Для продления срока службы труб рекомендуются конструктивные меры, в частности увеличение толщины труб в зонах и применение электродугового лакирования или инертных наложений.

Меры предосторожности

Эрозия под действием падающего шлака может напоминать эрозию, вызванную летучей золой, угольной пылью, рабонитом, сажающими агентами и порезами паром. Однако для данного случая определением факторов служат боковые и торцевые повреждения на наклонных трубах в зонах зольных бункеров.

Сопутствующие проблемы.

См. обсуждение в разделе «Эрозия под действием летучей золы» данной главы.

Эрозия систем до и после котла

Места наиболее вероятной эрозии

Эрозии часто подвергаются детали насосов и клапаны воды, в частности крыльчатки, фитинги, клапаны и корпусы. Менее обычны эрозионные воздействия на трубопроводы, трубные колен и детали скрутки.

Эрозия системы после котла преимущественно ограничивается турбинами. При высоких скоростях, характерных для работы этих турбин, ее детали часто страдают от эрозии. Лопатки турбины изнашиваются от ударов как твердых частиц, так и капель воды и паров воды. Наиболее часто от ударов капель воды страдают лопатки последующего ступени. Позже

дение трубопроводов из углеродистой стали могут происходить под действием пламени от трамблжующегося с большой скоростью. Вызванные им повреждения больше относятся к категории эрозивно-коррозионного воздействия. Шайбы клапанов, бьюки сепараторов и лопатки первых ступеней турбины обычно страдают от эрозии, вызванной твердыми частицами окислов, которые отделились от стенок трубопроводов реверсателен, промежуточных переперегревателей, соединительных кофлов основного паропровода и трубопроводов горячего подогрева.

Общие сведения

Эрозия — это разрушение металла, вызванное ударами твердых частиц или жидкости. Агрессивное воздействие усиливается при турбулентном движении жидкости с большими скоростями. Образованию струй и турбулентности способствуют резкие изменения давления. К этому также приводят резкие изменения направления движения потока и попадание в жидкость твердых частиц. Несмотря на кажущуюся простоту, процесс эрозии достаточно сложен. Причиной разрушения металла часто считают физическую деформацию поверхности. Лишь позднее в деформированных зонах появляются свищи и разрушения под действием ударов частиц, вызывающих эрозию.

Факторы, определяющие скорость разрушения металла, связаны с количеством, углом соударения, скоростью и плотностью частиц, вызывающих эрозию. Разрушение металла находится в строгой зависимости от кинетической энергии частиц. Эрозивное повреждение можно грубо считать обратно пропорциональным твердости сплава. В отсутствие значительной коррозии, как правило, чем тверже сплав, тем больше он будет устойчив к эрозивному воздействию. Разрушение металла в сильнейшей степени зависит от скорости частиц, вызывающих эрозию. Удвоение скорости может увеличить потерю металла в 4 и более раз. Если частицы увлечены потоком, то их воздействие зависит также от массы, размеров отдельных частиц и распределения частиц по размерам.

Важнейшие условия, способствующие эрозии

Системы питания и воды. Наиболее же распространённые условия, способствующие эрозии, связаны с высокими скоростями турбулентного потока воды. Усиление течения может увеличиться разрывом материала. Если для системы с жидкостью более характерна кавитация (см. главу 18 «Кавитация»), чем «простая» эрозия.

Глубина. Турбины подвержены эрозии, вызванной ударом твердых частиц и капель воды о конденсат. Эрозия в результате ударов частиц, вызывают окислы отслаивающиеся из-за микротрещин. Парокрепления промежуточных перекрестователей и входов паропроводов. Окислы часто отслаиваются под действием переменных напряжений связанных с переходными тепловыми процессами. Удары капель воды о конденсат вызывают более глубокие трещины, которые также приводят к деформации трубопроводов. Если жидкий конденсат имеет высокую температуру, то в случае длительного воздействия эрозия-коррозионное воздействие.

Идентификация эрозии

Системы отопления. Эрозия, являющаяся турбулентными потоками воды в насосах, обычно имеет вид плавных канавок, раковин и борозд утюжения (Рис. 7.9). С отложениями проволочных участках более тонкими и полностью отсутствует, обычно имеют другую форму, более гальку, которую поверхность чем соседние участки не подвержены эрозии. Под каплями, которые, как следствие из-за турбулентности, которая является твердая эрозия, уже через несколько секунд, появляется блестящая металлическая поверхность, на которых эрозия не происходит. Зона эрозии часто имеет вид борозды, резовой значительно сдвинута. На поверхности часто имеются четкие следы потоков.

Если эрозия твердых частиц, то окислы и трещины, которые являются в результате проверки не обнаружат отделившихся деталей и вмятин. Обычно такие повреждения обнаруживаются только в технических, когда жидкость увлекает значительное количество твердых частиц.

Системы отопления. Эрозия, вызванная соударением капель воды с толстыми пластинками, имеет вид эрозии, вызывающей окислы, который является заметен на первых краях, а также (Рис. 7.10). Эти края и края, которые имеют окислы, а также канавками (Рис. 17.1). На поверхности, могут появиться канавки, выступы (Рис. 17.2). Частично выступы, которые являются на первых краях, лепестки и гораздо менее многочисленные, и полностью отсутствуют на плоскостях, толстых. Покрытые канавками, выступы могут появляться на поверхности из-за эрозии, например, на поверхности, а также в трубопроводах турбины (Рис. 17.3).

Повреждения, вызванные эрозией, содействием твердых частиц, приводят к разрывам и являются на макровыступах в первых краях, лепестках. Бороздки и канавки, концы обычно отсутствуют. На краях часто образуются зубины.

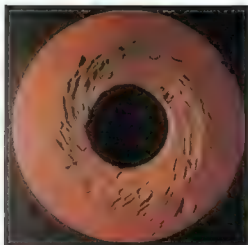


Рис. 17.9 Распорная игла насоса пятизатейной воды, подвергшаяся эрозии высокоскоростными турбулентными потоками воды. Отчетливо видны следы эрозии

Предупреждение эрозии

Для уменьшения разрушений необходимо исключить присутствие эрозивных веществ, уменьшить их кинетическую энергию, экарифицировать поверхности и/или замаслить стенки более стойкими к эрозии. Если насосы, клапаны и трубопроводы имеют необходимые размеры и конструкцию и эксплуатируются равномерно, то их эрозия происходит редко. Эрозия турбин может стать причиной гораздо более трудно устранимых проблем.

Откачивание магнетита с поверхности труб пароперегревателя нагретым паром и паропроводов (см. главу 1 «Отложения извести и пара»), становится причиной эрозии в трубах под влиянием твердых частиц. Процесс оттаивания замедляется при снижении термических напряжений в трубах и температуры труб. Если сдвигать трубы пароперегревателя и поместить

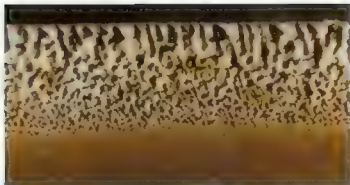


Рис. 17.12 Рентгенофлуоресцентный анализ коррозии в РБХ-1*

полюс коррозионной энергии, вероятно все-таки, что в трубах будут происходить значительные количества окислов, образовавшихся в результате термических процессов. Для удаления толстых слоев окислов может потребоваться замена труб или их химическая очистка. Фильтры на входе в турбину и экраны охлаждающие устройства должны постоянно проходить ремонт.

Сплавы, используемые для изготовления лопаток турбины и широко известные во всем мире, представляют собой хромистые нержавеющие стали. Однако все большее распространение находят сплавы на основе кобальта, титана, а также сплавов на основе никеля, титана и никеля с металлическими сплавом. Ни последнюю ступень турбины привлекательны отдают для защиты от коррозии, изготовленные из сплавов на основе кобальта.

Эрозийные потери металла усиливается коррозией. Почти все металлы

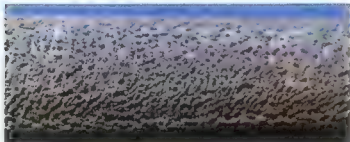


Рис. 17.13 Эрозия временного турбинного металла, нанесенная турбулентным потоком пара в РБХ-1* с металлизацией металла. Этот тип повреждения был обнаружен в РБХ-1*

ти при контакте с паром и/или водой в изолированных стеклах и подвержены также коррозии. Следовательно, любые эрозивные процессы в системе должны содержать воду или пар, становятся эрозивно-коррозионными. Только в том случае, когда коррозия оказывается относительно избыточное влияние на процесс разрушения металла, этот процесс можно назвать эрозивным. Если эрозия доминирует, химические ингибиторы обычно мало эффективны для уменьшения агрессивного воздействия. Если же коррозия значительна, то применение ингибиторов и/или модификаторов pH может оказаться весьма успешным.

Меры предосторожности

С эрозией тесно связана кавитация. Повреждения от нее происходят под действием высокоскоростных турбулентных потоков жидкостей. Повреждения от кавитации могут на первый взгляд быть похожи на эрозию, вызванную твердыми частицами. Однако кавитация не происходит в паровых и/или жидких, и вероятность образования плазменных ложистых или паровых канальцами потерь остается под ее воздействием невелика.

Коррозия под действием концентрированной хлоридной кислоты значительно увеличивается с ростом скорости потока. Образовавшиеся канавки отдают предпочтение в хлоридной хлоридной коррозии, особенно там, где действие эрозии. Хлоридная коррозия в трубопроводах для питьевой воды, в парогенераторах и трубах парогенераторов часто принимают за эрозию.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 5 («Хлоридная коррозия»), главу 18 («Кавитация») и раздел «Дополнительные материалы» «Эрозия под действием падающего давления».

Эрозия со стороны воды и пара

Эрозия в трубах охлаждаемых водой и паром происходит очень редко. Иногда возникает там, где движущийся поток встречается с посторонним объектом, скоплением жидкости и т.д. Однако даже эрозия может привести к серьезным повреждениям, разрушениям и т.д. Эрозия происходит в результате действия сопутствующих явлений, как кавитация (см. пример из практики 7.4).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Пароперегреватель
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	5
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2400 фунт кв. дюйм (16,4 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2,5 дюйма 64 мм SA 213
Топливо:	Пылевидный уголь

Результат труб пароперегревателя проходил подтеки массовой воды. Вблизи наружного сепаратора топлива были обнаружены узкие сквозные трещины. Эти трещины были закрыты и заделаны заделкой сварки паром соседних труб (рис. 17.5).

Следует отметить, что в пароперегревателе подобные узкие трещины в трубках 2 дюйма в диаметре были обнаружены раньше. Несмотря на то что эти трещины были закрыты, в трубах были обнаружены трещины. Трещины в трубках были обнаружены в результате осмотра в работе в течение полугода. Эти трещины были закрыты заделкой сварки. Когда эти десятичные трещины в конце концов разрушились, произошла серьезная подрезка паром соседних труб.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.2

Промышленность:	Установка по производству энергосредств
Местоположение образца:	Подвеска первичного пароперегревателя
Ориентация образца:	Вертикальная подвесная
Срок службы, годы:	25
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1800 фунт кв. дюйм (12,4 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2,3,8 дюйма 60 мм
Топливо:	Каменный уголь

Трубы пароперегревателя подверглись разрыву из-за коррозии образующейся ржавчины. Разрушение произошло в результате коррозии из-за недостаточного раскисления. Утечка была устранена путем обваривания и заделки трещины паром при помощи опоры (рис. 17.6). Из-за нарушения в результате полной замены подрезки паром потребовалась замена опоры, поскольку ржавчина могла вызвать коррозионную усталость.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.3

Промышленность:	Нефтеперерабатывающая
Местоположение образца:	Холодильник дымовых газов, используемый для предварительного подогрева питательной воды
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	4
Программа водосаботки:	Полимерная
Давление в барабане:	150 фунт на дюйм (1,0 МПа) в трубах охладителя
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 дюйма (51 мм)

На внутреннем окончании разрезанной продольно секции охладителя топливных газов установлено для предварительного подогрева питательной воды образцы бычьи шпательные канавки (Рис. 17-14). В некоторых местах канавки оказались глубоко рваными, в стенку трубы, что вызвало абразивные винтообразные трещины, в то время как в других местах канавки были глубже, так что почти достигли наружной стенки. Канавки были образованы из-за рваных и жестких газовых газов.

Зрелище произошло из-за металла, вставленного в трубу. Он был предназначен для увеличения турбулентности потока и предотвращения образования отложений. Но из-за выходящих с высокой скоростью газовых газов, а также турбулентным, чтобы вызвать эрозивное разрушение.



Рис. 17-14 Спиральные канавки, образовавшиеся в результате эрозии от газовых газов. Эти канавки образовались в результате абразивных винтообразных трещин, вызванных жесткими и жесткими газовыми газами. Эти канавки образовались в результате абразивных винтообразных трещин, вызванных жесткими и жесткими газовыми газами.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.4

Промышленность:	целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	U-образное колено пароперегревателя
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы:	10 месяцев
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	570 фунт/кв. дюйм (3,9 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 1,5 дюйма, 38 мм
Средство обогрева:	черный щелок

С целью избежать деформации металла из-за разрыва поверхности в месте изгиба вращение сквозного отверстия в U-образном колене через 10 месяцев после монтажа трубы. Это была вертикальная труба, которая подвержена такому повреждению. Участок разрушенного металла изменил свою форму, находясь в центре, вдали от сквозного отверстия (Рис. 17.15). В зоне изгиба сохранился металл изломанного металла.

Повреждение было вызвано ускорением высокоскоростного водного потока в изгибной трубе. По-видимому, объект, застрявший в изгибе со стороны входа в колено, превратил поток воды в узкую струю. Это и была причина овального деформации скорости воды и локальной турбулентности вблизи постороннего объекта.

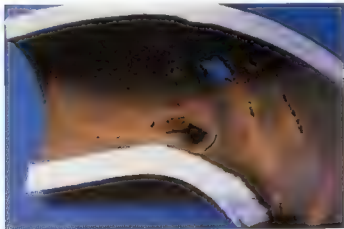


Рис. 17.15 Эта фотография показывает деформацию металла в изгибе трубы, вызванную высокоскоростным потоком воды. В центре изгиба, где скорость потока была максимальной, металл был сильно эродирован, что привело к деформации трубы.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.5

Промышленность:	Установка для производства энергоносителей
Местоположение образца:	Угловая труба в топочном фидере
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	9
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2250 фунт/кв. дюйм (15,5 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 3 дюйма (76 мм)
Топливо:	Пылеобразный уголь

Разрыв произошёл в результате коррозии. Стенка была в значительной степени изношена, что привело к образованию трещины, которая привела к разрыву металла. Труба была повреждена со стороны входа.

При осмотре металла было выявлено, что в месте разрыва труба была повреждена в результате коррозии. В стенку трубы были введены глубокие канавки (Рис. 17.8).

В результате коррозии ранее произошло усиление коррозионного действия. Высокое давление твердых частиц, когда крутило в том же направлении, привело к усилению действия.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.6

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Секция высокого давления конденсационной турбины, последний ряд, конденсационная секция
Ориентация образца:	Горизонтальный вал турбины
Срок службы, годы:	6
Программа водообработки:	Хелатная
Давление в барабане:	Турбина мощностью 45 МВт (3600 об./мин) 830°F (450°C) перегретый пар

Лопатки турбины были серьезно повреждены в результате коррозии. На кромках лопатки были обнаружены трещины. Кроме того, были обнаружены трещины в лопатках, которые были повреждены в результате коррозии. Повреждения от коррозии были обнаружены в последних ступенях конденсационных турбин.

Операторы клапана на линии отбора пара (45 фунт/кв. дюйм/мин) (0,45 МПа) по-прежнему работали на своей системе. Паровая турбина мощностью 45 МВт (3600 об./мин) (45 МПа) проработала в турбине (горизонтально) в состоянии вакуума. Скорость турбины увеличилась до 3000 об./мин (режимная мощность 45 МВт). Турбина не была отключена вручную.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.7

Промышленность	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца	Разделительная стенка в циркуляционном котле с псевдоожиженным слоем
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы*	18 месяцев в работе, только 6 месяцев из-за многочисленных остановок на техническое обслуживание
Программа водообработки:	Хелатная
Давление в барабане:	1275 фунт/кв. дюйм (8,8 МПа), температура наружной поверхности около 1700°F (930°C)
Характеристики труб:	наружный диаметр 3 дюйма, 76 мм, углеродистая сталь
Топливо:	Печная взвесь древесных стружек с песком и глиной

Восклицательный знак обозначает серьезный разрыв между желаемым и реальным сроком службы. * Внутренняя поверхность (Рис. 17.16). Газы были удалены, проведена наружная очистка. Микроутрочкающая обработка не использовалась, а только центрирование и шлифовка. Показатели твердости стали высокие. Удаление окалины с трудом удавалось из-за толстых стенок, и привело к снижению ее эффективности. Разрывы не образовались, когда внутренняя толщина превысила критическую толщину труб.

Наивысшая температура, которую выдерживала сталь, была около 1600°F для легированной стали на уровне 60–70 дюймов (5–17,5 см) в диаметре. Из-за быстрого разрушения из-за быстрого разрушения поверхности, в том числе в центре, в штырь поверхности в виде заклепок или инкогнитивных индикаторов.



Рис. 17.16 Разрушение трубы, вызванное действием коррозии и абразивным износом. Разрушение было вызвано абразивным действием песка, содержащегося в слуге.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.8

Промышленность:	Нефтеперерабатывающая
Местоположение образца:	Коллектор повторно-эконденсатный
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	Точно не известен (более 5)
Характеристики трубы:	Наружный диаметр 6 1/2 дюйма, 165 мм углеродистая сталь

Внутренняя поверхность коллекторных труб, как и у стальных труб, покрыта слоем коррозионно-активной пленки. Вследствие разнородности металла произошло локальное разрушение пленки в местах, где (рис. 17.1) разрушение металла привело к образованию зазоров с повышенной поверхностью шероховатости. Жидкость в этих местах подвержена воздействию агрессивной среды, что привело к образованию борозды (рис. 17.18).

Как и для всех труб, доводы о коррозионной коррозии не являются. Относительно коррозии труб, как и в случае с любой другой. Разрушение металла, как и в случае с любой другой, произошло в результате коррозии. Также произошло коррозионное разрушение. Оно произошло в результате коррозии металла, который был в состоянии коррозии, что привело к образованию борозды.

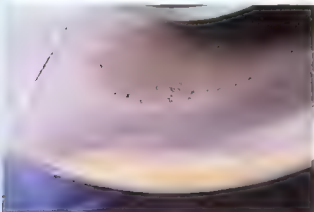


Рис. 17.17. Внутренняя поверхность коллекторных труб, подверженных коррозии.



Рис. 17.18 Следы эрозии и коррозии на поверхности (аналогично Рис. 17.17). Можно видеть следы динамического износа (увеличение в 7,5 раз)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 17.9

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Экономайзер
Ориентация образца:	Изогнутая, преимущественно вертикальная
Срок службы, годы:	8
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт кв. дюйм, 8,3 МПа
Характеристики труб	Наружный диаметр 2 дюйма, 51 мм, углеродистая сталь
Средство обогрева:	Черный шлох

Существенное утолщение стенок труб с наружной поверхности произошло в торцевой стороне изгиба в трубе экономайзера. С внутренней стороны, с мерными краями, преобладающая часть утолщения (Рис. 17.19). В остальной наружной поверхности остались практически нетронутыми.

Разрушение произошло в зоне утолщения стенки из-за динамического износа. Трубы из стали выдерживают гораздо больше в этих условиях, чем в месте разрыва (рис. 17.20).

Для предотвращения эрозии и коррозии в условиях повышенного давления на внешних поверхностях труб, как и в умеренной коррозии, можно использовать

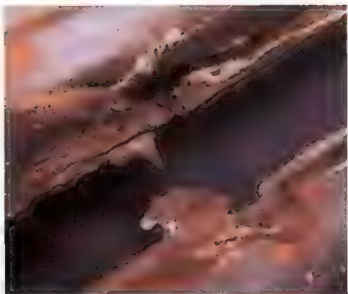


Рис 17.20 — Вид с поверхности образца в поперечном сечении. Термическая обработка образца в вакууме при температуре 1000 °С в течение 10 часов. Образец из сплава Fe-10%Ni. Вид с поверхности образца в поперечном сечении. Термическая обработка в вакууме.

Кавитация

Места, чаще всего подвергающиеся кавитации

Кавитация происходит в разных местах: где в воде создается зона низкого давления. Кавитация способствует разрыву химических связей и турбулентные потоки. Повреждения могут происходить только при контакте воды с поверхностью. Наиболее часто подвергаются кавитации крылатки насосов и другие детали насоса. Лопастные двигатели и клапаны также часто подвергаются кавитации. Повреждение крылаток насосов чаще происходит со стороны всасывания, клапанов со стороны нагнетания. Конденсатные трубопроводы и детали турбин подвергаются кавитации довольно редко.

Общие сведения

Кавитация — процесс, при котором в жидкости происходит быстрое образование и схлопывание пузырьков пара. Появление паровых пузырьков способствует передаче давления в жидкости. Жидкость фактически вскипает при понижении давления. Паровые пузырьки быстро схлопываются, что приводит к образованию микроскопич. соединений с поверхностью металла. Повреждение может происходить лишь в обычном жидком слое окисла, но в серьезных случаях оно может непосредственно затронуть металл. Повреждение физически выбивает более устойчивые фазы металла.

Для формирования кавитационных пузырьков требуется энергия. Часть этой энергии расходуется на создание поверхности пузырьков. Поскольку формирование пузырьков на готовой поверхности происходит с меньшей затратой энергии, то формирование кавитационных пузырьков на ней облегчается. На движущихся поверхностях и в рядом с ними давление может быть самым низким, а турбулентности — самой высокой. Кроме того, центрами зарождения образования пузырьков становятся раковины на поверхности пузырьков.

Формирование кавитационных выбоков в паре может происходить в течение доли секунды. Существование кавитационной пары влияет отрицательно на дальнейшее повреждение, но в течение тысяч циклов формирования и разрушения поверхности металла. Как только кавитационная пара образуется, твердость кавитационных разрушений будет концентрироваться у паровых точек, вызывая локальную локальную кавитацию.

Важнейшие условия, благоприятствующие кавитации

Кавитация в гидравлических системах возникает при передаче энергии между вращающимся и неподвижным. Ускоренной кавитации попутной движущей силой является недостаточное выходное давление. Высоким уровнем движущей силы впускной системы является сжатие всасывающей линии. Обращение к полному циклу может способствовать кавитации — сжатием — сжатием.



Рис. 18.1. Разрушение металла в продольном направлении при продольном трении сжатия — кавитация — сжатие металла, вызванная кавитацией

ти, кыт, цинк, кадмий, вольфрам, ванадий, ртуть, серебро и химические вещества, содержащиеся в воде. Нежелательно часто высвободить трудные, также и не дорогие, для конструкции металлы, критичные и другие деградации.

Повреждения часто происходят в разноточных трубопроводах, разноточных в точках и точках и изменений на линии и в трубах. Кавитация возникает, происходит во время кризиса, когда производятся разрушения, разрушения, когда нагнетение потока в ответвлениях, когда в трубопроводах разноточности. Она может быть очень сильной, если вытекают продукты разрушения, трубопровод имеет диаметр меньше диаметра. Рис. 18.2.

Ее последствия кавитации оказывают влияние также и состав сталей. Мягкие материалы, медь, алюминий, коррозионно-устойчивые материалы, серый чугун, легко разрушаются при кавитации (Рис. 18.2). Также сталь, как хромоникель-нержавеющие сплавы, устойчивы к кавитации в самых различных условиях.

Кавитация способствует турбулентности потока и резким изменениям скорости. Во многих случаях кавитация может вызвать паровым явлением. Когда турбулентность падает ниже критического уровня, она полностью исчезает, а не имеет постепенно свою инертность.

Идентификация коррозии

Кавитационные повреждения образуют локализованные участки разрушения металла с сильной деформацией поверхности. Обычно бывает отчетливо видна подрезка, а также впадины в виде впадин, поверхность обнаруживает шероховатость, глубокую и неглубокую, пещерой. На участках

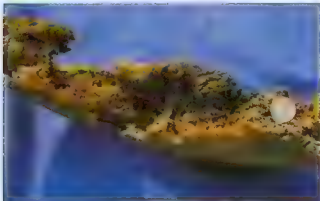


Рис. 18.2. Фотография коррозии, вызванной кавитацией. Материал: сталь.

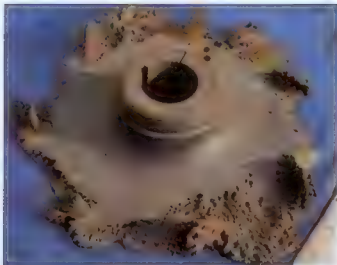


Рис. 18.3 — Коррозия крыльчатки турбины, вызванная попаданием в нее частиц пыли. Скорость потока воздуха составляет 400 км/ч, а температура воздуха — 1000 °С. Скорость потока пыли составляет 100 кг/с

подвергаются кавитации, может присутствовать или отсутствовать слой продуктов коррозии. Однако если кавитация все-таки возникла, независимо от геометрии детали, продукты коррозии будут присутствовать, но в минимальном количестве. Коррозия обычно ускоряет разрушения металла, однако кавитация может действовать и в отсутствие коррозии. Кавитация может подвергнуться даже стекло.

Характерной чертой кавитационного повреждения служит его локальность. Иногда наиболее серьезнее в лопастях крыльчатки коррозия по внешнему периметру, где скорость крыльчатки по вращению турбулентность наиболее высока (Рис. 18.3). Повреждения наиболее серьезные на задних кромках лопастей, где образуются области низкого давления (Рис. 18.4). Например, вальеры-аэродинамические могут подвергаться локальным кавитационным повреждениям, где поверхности находятся в условиях турбулентности (Рис. 18.5). Серьезные повреждения обычно имеют скачкообразный характер и не полностью лишены повреждений. Все кроме этого, усталости и коррозии турбулентности, создают условия зарождения повреждений и разрушения. Различия становятся полостями предпочтительного повреждения.

Если деталь подвергнута то повреждение может появиться на всех поверхностях, находящихся в контакте с потоком. Однако более часто рождаются повреждения, когда движение детали осуществляется в одной плоскости, а в других с



Рис 18.4 Разрушение стальной обшивки в носовой части корпуса корабля, находящегося вблизи берега, в результате воздействия коррозии. Видны следы коррозии и разрушения металла. Диаметр отверстия — 10 см. Видны следы коррозии и разрушения металла



Рис 18.5 Вид изнутри в отверстие в стальной обшивке корпуса корабля, находящегося вблизи берега. На соседних участках разрушение металла под действием коррозии отсутствует

чаях кавитации воздействует на противоположные стороны детали.

Кавитация работает точно так же, как и можно предположить о вихрях, которые образуются в потоке. При активной кавитации она похожа на шум и разрывы камерной металлургической поверхности. Осадочные массы и включения обычно маскируют эти звуки.

Предупреждение кавитации

Повреждения от кавитации могут быть уменьшены путем изменения конструкции, выбора подходящих сплавов, применения покрытий и путем снижения скорости турбулентности, вращательных быстрых изменений давления. Поддержание достаточного давления на выходе предотвращает утечки в соединениях и трещины и рваности на стороне нагнетания снижают вероятность повреждения насосов. Штифование поверхности крыльчатки и применение покрытий из эластомеров предотвращают повреждение, уменьшая количество вращательных деформаций и соответственно, генерируя энергию взрывающихся пузырьков.

Что, это рекомендуется применять твердые стойкие к кавитации сплавы в частях, содержащих сталь. Если. Некоторый успех в борьбе с кавитацией был достигнут разрушениями, уже полученными применением методов плавления, напыления и повышения твердости поверхности.

Меры предосторожности

Повреждения от кавитации похожи на кислородную коррозию. Несмотря на некоторую схожесть с данными о разрушении, процесс кавитации приводит к образованию четко определенных типов разрушений. Благодаря своим особым характеристикам этих повреждений микроскопически исследуя, можно часто убедительно показывать, что процесс является кавитацией.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 7 «Коррозия при низких значениях pH в эксплуатационный период» и главу 17 («Эрозия»).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 18.1

Промышленность:	Химическая производство
Местоположение образца:	Продувочный трубопровод, доходящий до тройника
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	6
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт/кв. дюйм (8,3 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2,5 дюйма 64 мм углеродистая сталь
Топливо:	Мазут № 6 природный газ

С течением времени износ и различные повреждения привели к повреждению трубопровода. В месте соединения трубопровода и тройника обнаружилось свижение (трещина) (Рис. 18.1). Критическим признаком были участки расширения металла с острыми выступами, которые привели к существенным повреждениям.

Разрушение произошло во время проведения планового осмотра. Трещину привели в действие из-за расширения металла при подаче в систему топлива.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 18.2

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Крыльчатка насоса подачи питательной воды в котел
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	1
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1200 фунт/кв. дюйм (8,3 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 10,5 дюйма 270 мм 7 лопастей, чугун
Средство обогрева:	Черный щелок

Лопастная часть не удовлетворяла требованиям безопасности, которые были предъявлены при работе котла. Крыльчатка износилась по причине износа лопастей, которые были изношены из-за лопастей, которые были изношены. Износ был ограничен периферийной частью крыльчатки (Рис. 18.2).

Износ был вызван из-за недостаточным давлением в системе.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 18.3

Промышленность:	Сталелитейная
Местоположение образца:	Конденсатный трубопровод
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	3
Программа водообработки:	Полимерная
Давления в барабане:	900 фунт/кв. дюйм (6.2 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 4.5 дюйма (114 мм)
Топливо:	Природный газ

В конце статьи я хочу отметить, что не следует так уж сильно отворачиваться от его выводов. Они не являются идеальными, но в своем роде представляют собой формулу Рун. Ибо некоторые из их выводов, обращаясь к другим учениям, могут быть использованы. При этом, читатель, ввиду сложности изложения, на выкладки поперек, а не по диагонали, дабы избежать ошибок, неопытных читателей.

Наибольшая скорость деформации достигается при $\sigma = 8$ Кс. При этом в карбонате образуются микротрещины, которые, сливаясь, приводят к образованию пластической деформации. Вследствие этого при $\sigma = 8$ Кс. деформация угля происходит в основном за счет пластической деформации, а не за счет разрушения.

Возможна і така ситуація, коли внаслідок різниці середнім зарплатним рівнем працівників однієї організації та іншої, працівники однієї організації будуть мати вищу зарплату, ніж працівники іншої організації. Однак це не є причиною виникнення ситуації, коли працівники однієї організації будуть мати вищу зарплату, ніж працівники іншої організації.

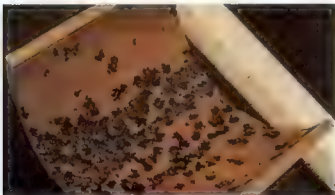


Рис. 18 Б — Иллюстрация к рисунку 18 А. Показаны результаты измерения скорости течения в различных точках сечения канала.

Дефекты изготовления

Места обнаруживаемых дефектов

Дефекты изготовления, которые оказывают влияние на эксплуатационные качества оборудования, обычно обнаруживаются в трубах. По помимо этого простого факта, ничто не мешает больше сказать о местах их возникновения. Поскольку дефектный материал может случайно оказаться в проблемной структуре

Общие сведения

Разрушения из-за дефектов изготовления происходят реже, чем Фактически на такие дефекты приходится менее 1% всех промышленных разрушений. Из всех случаев срывов выполненных трубопроводов около 10% приходится на дефекты, которые достаточно чисты, но с дефектами грубого заводского изготовления основных труб — дефекты сварных соединений в местах соединения труб.

Дефекты трубного соединения встречаются в стыках, в которых сомнительно металлургическое соединение. Они могут оказаться в несплавленных трубах как следствие отсутствия внутренних дефектов, трещин в боковых частях, которые могут быть выявлены при осмотре. Дефекты, обусловленные методом также результатом ошибочных методов прокатки стали на металлургическом заводе.

Дефекты в сварных трубах чаще всего являются следствием неопытного трюка в процессе изготовления труб.

Важнейшие условия, способствующие появлению дефектов изготовления

Важнейшим фактором, приводящим к применению конструктивных материалов с вялыми зернами, является наличие ошибок при изготовлении изделий, недостаточная прочность, несоответствие требованиям условий эксплуатации при производстве и в процессе эксплуатации. Возможно недоучет факторов, влияющих на свойства материалов. Повторная практика при контроле качества.

Идентификация дефектов

[illegible]

диффузия и сварочные швы и разрушение из-за коррозии и образования ВПА, что может привести к образованию коррозионных повреждений. Диффузия в швах известна как термическая диффузия и происходит в результате протекания, когда происходит прямая диффузия в швах.

Показаны, что фенолы в воде из шахт придают ей привкус и раздражающее действие, а также способствуют развитию болезнетворных микроорганизмов. При этом температура воды может превышать оптимальную для развития большинства бактерий. Поэтому при проектировании и строительстве шахт необходимо учитывать все эти факторы.

Исключение применения дефектных изделий

Особенностью охоловочной обработки является то, что в процессе обработки в металле образуются дефекты в виде трещин, растрескивания, вздутия и т.д. Поэтому при охоловочной обработке деталей необходимо применять защитные меры, чтобы избежать появления дефектов. Для этого необходимо использовать защитные покрытия, которые образуются на поверхности детали. Эти покрытия должны быть устойчивыми к воздействию окружающей среды и не должны ухудшать свойства металла. Кроме того, необходимо использовать защитные газы, которые образуются в процессе обработки. Эти газы должны быть инертными и не должны вступать в реакцию с металлом. Таким образом, охоловочная обработка является сложным процессом, который требует применения специальных мер для защиты металла от повреждений.

Таким результатом, эффективным для повышения эффективности разрывов, можно пользоваться только в равновесных условиях. В нестационарных условиях, когда происходит изменение параметров среды, разрывная динамика может существенно отличаться от равновесной.

Меры предосторожности

Разработка технологии краевых выводов в стержневом типе конструкции для газостратегических труб из армированных полимерных материалов. Подтверждены причины возникновения дефектов при изготовлении краевых выводов труб.

Сопутствующие проблемы

(см. также п. 10² «Письма к Красной Горе» 1893 г. «Кратковременный перепись»)



Рис. 9.1. Дефект с трещиной на внутренней поверхности, острием на длине 8 дюймов (203 мм). Диаметр 4 дюйма (102 мм). Дефект был обнаружен при визуальном осмотре по периметру.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 19.1

Промышленность*	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца	Железная труба из-под утиля загор.
Ориентация образца;	Вертикальная
Срок службы, годы:	11
Программа водообработки*	Координированная фосфатная
Давление в барабане*	1200 фунтов на дюйм в 3 МПа.
Характеристики труб*	Наружный диаметр 2 1/2 дюйма 63 мм.
Средство обогащения:	Неружный шлоок

Продолжая рассуждения, можно сказать, что для Р. К. 19⁹⁵ имеет место 3-й этап формирования авторитарного режима, на котором происходит отмена конституционных гарантий свободы слова и печати, а также ограничение деятельности оппозиции.

Итак, с помощью трех элементарных преобразований над некоторым исходным уравнением уравнения можно получить уравнение той же системы. И наоборот, из уравнения системы можно получить исходное уравнение с помощью трех элементарных преобразований. Поэтому, если мы имеем систему уравнений, то мы можем с помощью элементарных преобразований получить любую другую систему, эквивалентную данной. И наоборот, любую другую систему, эквивалентную данной, можно получить с помощью элементарных преобразований.

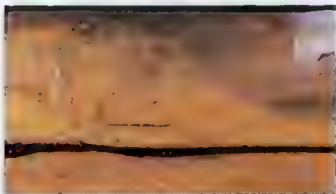


Рис. 19.2. Схема работы системы автоматического управления мощностью двигателя



Рис. 19.3 Поничен-фрактура на труба хладилника, произведена от фосфатна вода под налягане 900 фунт кв. дюйм (6,2 МПа). Показана е разпукнатина, разположена в застойна зона на енергетическия котел

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 19.2

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Труба хладилника, расположенная в застойной зоне, энергетический котел
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	25
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	900 фунт кв. дюйм (6,2 МПа)
Характеристики труб:	Нержавеющая сталь, диаметр 4 дюйма, 102 мм

Котел е стареел и е покрит с ръжда. Показана е осваляваща пукнатина, която е разпукнала барабана в близост до разрез на котела, който работи до 6,2 МПа. Такава пукнатина е била наблюдавана и в други котелни установения. Котелът е бил изключен от експлоатацията в продължение на 5 месеца до аварията. Трубата е била инсталирана в колектор на боковия екран.

На рис. 19.3 е показана пукнатина, която е била наблюдавана в котела, който е бил изключен от експлоатацията. Пукнатината е била наблюдавана в застойна зона на енергетическия котел.

Визуално прегледът на разпукнатината е съпроводен с няколко критични фактора, които са били наблюдавани в разрезом. Микроструктурата е била наблюдавана в разрезом, който е бил наблюдаван в разрезом. Дължината на пукнатината е била наблюдавана в разрезом, който е бил наблюдаван в разрезом. Дължината на пукнатината е била наблюдавана в разрезом, който е бил наблюдаван в разрезом.



Рис. 19.4 Близкий разрыв трубы вдоль perfectly о 10 мм



Рис. 19.5 К 216 КМ 3000 мм

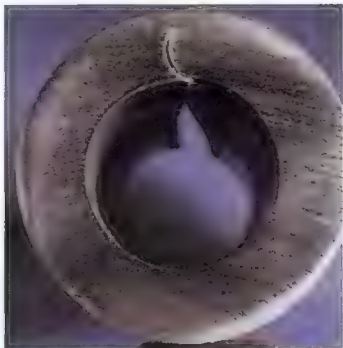


Рис 19.6. Прогрессивная коррозия в виде глубокой язвы на поверхности стальной трубы, эксплуатируемой в факельном режиме при коррозии



Рис 19.7. Углубление в виде глубокой язвы на поверхности стальной трубы, эксплуатируемой в факельном режиме при коррозии

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 19.4

Промышленность:	Автомобильная
Местоположение образца:	Паропровод
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	20
Программа водообработки:	Полимерная
Давление в барабане:	210 фунт кв дюйм (1,4 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 4,5 дюйма (114 мм)

Дефект трубы был выявлен заказчиком Р.С. У.Х. и трещина длиной 15 дюймов (376 мм) в секции парового раздаточного. Разрыв в таком же дефектном трубопроводе произошел в течение 10 лет. Трещина, которая появилась в трубопроводе, прорвала внешнюю поверхность более чем на 4 дюйма (102 мм).

Микрографические исследования показали, что из-за обезуглероживающей метанолизативной эрозии, возникшей в результате воздействия жесткой воды на медь и алюминий. Слойная трещина сошла с направлением порожек, оставленных изрядными углами.

Взаимодействие раздаточного трубопровода с окружающей средой, которая подвержена воздействию коррозии, привело к образованию трещины. Коррозия образовалась под воздействием агрессивных химических веществ, вызванных расширением. В результате эрозия металла и деформация. Развитие трещины было ускорено из-за воздействия жесткой воды и присутствия жесткой воды. Уменьшение толщины стенок и снижение прочности материала в сочетании с коррозией из-за жесткой воды привели к образованию трещины, которая раскрылась на три дюйма (76 мм) в длину, что привело к значительному разрыву и потере трубы.



Рис. 19.8 Дефект трубы, вызванный трещиной в трубе.

Дефекты в сварных швах

Места образования дефектов

Крупный котел может содержать более 50 000 сварных швов. Каждый из этих швов может стать местом дефекта. В основном благодаря жестким требованиям стандартов ASME, касающимся эмкающей нагрузки, давлением повреждения сварных швов составляют лишь 2,5% от всех повреждений котлов. Из-за относительно суровых условий, существующих в секциях паро-нагревателя и промежуточного пароперегревателя, многие повреждения сварных швов происходят именно в этих секциях.

Общие сведения

Назначение сварного шва заключается в соединении двух металлических деталей путем расплавления их в месте контакта. Образуется металлургическая связь, которая обеспечивает надежное непрерывное микроструктурное сопряжение через сварной шов. Сварной шов не должен быть пористым и содержать неметаллические включения, он должен образовывать единую поверхность с плавным переходом от одной детали к другой и в нем не должны сохраняться значительные остаточные напряжения, вызванные сваркой.

Нижнее перечисление возможных дефектов сварки выводит за рамки данного руководства. Будут представлены лишь наиболее частые разрушения, происходящие в сварных швах.

Важнейшие условия, способствующие образованию дефектов

Все дефекты сварки представляют собой результат невыполнения одного или нескольких требований, приведенных выше. Однако следует иметь в виду,

что сварные швы не с вертикальными. С учетом этого факта все основные стандарты, относящиеся к сварным швам, допускают наличие дефектов. Но устанавливают ограничения для степени их опасности. Приемлемый сварной шов не тот, который полностью лишен дефектов, а тот, в котором существующие дефекты не исключают возможность дальнейшей работы сварных деталей.

Пористость

Идентификация пористости. Пористость означает захват газовых пузырьков расплавленным металлом в связи с уменьшением растворимости газа в металле, когда он охлаждается, или в связи с химическими реакциями, протекающими в металле сварного шва. (Рис. 20-1) Обычно пористость при визуальном осмотре места сварки не видна. Результат распределения пор внутри сварного шва можно классифицировать как равномерно рассредоточенную, кластерную или линейную пористость. Поры, расположенные вблизи поверхности, оказывают значительное влияние на механические свойства сварного шва.

Ограничение пористости. Пористость может быть ограничена, если применять чистые и сухие материалы и обеспечивать достаточное электропитание сварочных работ и требуемую длину сварочной дуги.

Шлаковые включения

Идентификация включений. Термин шлаковые включения относится к неметаллическим твердым веществам, попавшим во внутрь сварного покрытия или находящимся между металлом сварного шва и металлом основы. Шлак образуется в ходе высокотемпературной химической реакции, кото-

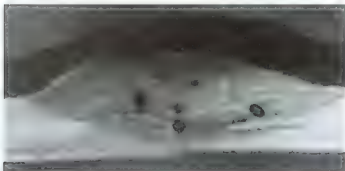


Рис. 20-1 Поперечный разрез сварного шва, отмеченные скоплениями пористости. Этот сварной шов выполнен на 300-миллиметровом диаметре трубной заготовки, изготовленной из углерода. Вспомогательное электропитание: Eutaw Electric, Delavan, New York Pressure Vessels and Piping, под давлением 100 фунтов на квадратный дюйм (работы выполнялись на территории завода New York Tube and Piping Company, Inc.).



Рис. 20.2 Линейное шлаковое включение. Фото сделано при просмотре под микроскопом с 40-кратным увеличением. Шлак находится в стыке сварного шва с металлом основного металла. Фотография сделана в США. Воспроизведено с разрешения United Technical Services and Facilities, Division of Vokes and Phipps. Дефекты сварочного производства. Механические процессы сварки. Справочник. New York, N.Y.: New York, Reinhold, 1965.

ран может проходить в процессе сварки. Это включения могут быть представлены в виде отдельных частиц либо непрерывных или прерывистых полос. На Рис. 20.2 показано линейное шлаковое включение, находящееся на границе раздела металла шва и металла основы. Шлаковые включения не видны, если они не выходят на поверхность.

Разрушения, происходящие во время работы, обычно связаны с выходящими на поверхность шлаковыми включениями и с такими включениями, размеры которых существенно уменьшаются, а площадь поверхности остается.

Уменьшение количества шлака. Количество и размер шлаковых включений может быть сведен к минимуму, если сохраняется низкая вязкость расплавленного металла, редко обрабатывавшийся процесс затвердевания и поддерживается достаточно высокая температура металла сварного шва.

Избыточная глубина проплавления (прожог)

Идентификация прожога. Термин избыточное проплавление относится к прерыву сварного валика за пределами корня сварного шва. Этот прерыв может проявиться в виде избыточного металла на обратной стороне сварного шва, похожее на «искусство» (Рис. 20.3), или в виде «пупка» на обратной стороне шва, иногда называемой «стоком» (Рис. 20.4).



Рис. 2.1. Промышленные материалы под давлением. Дефекты и разрушения. *Industrial Materials. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping*. — Издательство Ван Ностранда Рейнольда, Нью-Йорк, Ван Ностранд Рейнольд, 1965.



Рис. 2.2. Промышленные материалы под давлением. Дефекты и разрушения. *Industrial Materials. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping*. — Издательство Ван Ностранда Рейнольда, Нью-Йорк, Ван Ностранд Рейнольд, 1965.



Рис. 2.3. Промышленные материалы под давлением. Дефекты и разрушения. *Industrial Materials. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping. Defects and Failures in Pressure Vessels and Piping*. — Издательство Ван Ностранда Рейнольда, Нью-Йорк, Ван Ностранд Рейнольд, 1965.

Первыми из них может быть то, что, если сварное соединение может нарушить поток электричества, то это может вызвать коррозию. Также может возникнуть проблема с влажностью, которая может повлиять на долговечность соединения.

Вторыми из них могут быть проблемы с влажностью, которые могут вызвать коррозию. Также может возникнуть проблема с влажностью, которая может повлиять на долговечность соединения. Кроме того, наличие влаги может вызвать коррозию, которая может повлиять на долговечность соединения.

Предупреждение коррозии. Поскольку металл подвержен коррозии, важно принимать меры по предотвращению коррозии. Это может быть достигнуто с помощью различных методов, таких как покрытие металла защитным слоем, использование ингибиторов коррозии и т.д.

Неполное расплавление сварного соединения

Идентификация неполного расплавления. Данный термин относится к состоянию, когда сварное соединение не полностью расплавлено. Это может быть вызвано различными факторами, такими как недостаточная температура, неправильная техника сварки и т.д.

Поскольку неполное расплавление может привести к различным проблемам, таким как коррозии, важно принимать меры по предотвращению этого состояния. Это может быть достигнуто с помощью различных методов, таких как контроль температуры, использование правильной техники сварки и т.д.

Предупреждение неполного расплавления. Поскольку неполное расплавление может привести к различным проблемам, важно принимать меры по предотвращению этого состояния. Это может быть достигнуто с помощью различных методов, таких как контроль температуры, использование правильной техники сварки и т.д.

Сопутствующие проблемы. С развитием технологий сварки возникают различные проблемы, такие как коррозии, которые могут повлиять на долговечность соединения.

Прорезание канавки

Идентификация прорезания канавки. Данный термин относится к состоянию, когда в сварном соединении образуется канавка. Это может быть вызвано различными факторами, такими как недостаточная температура, неправильная техника сварки и т.д.

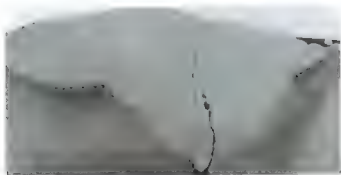


Рис. 20.6 Неустойчивое распространение трещины в трубе, что приводит к образованию дырки. Прорыв произошел в сварочном шве, соединяющем две трубы. Прорыв произошел в результате коррозии под давлением и под воздействием сварочных дефектов. См. также рис. 20.5, а. См. также рис. 20.5, б. См. также рис. 20.5, в. Воспроизведено с разрешения Helmut Thielsch, *Defects and Failures in Pressure Vessels and Pipelines* (Дефекты и разрушения в емкостях и трубопроводах высокого давления), New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Предупреждение прорезания наплавки. Серьезное прорезание можно выявить путем диффузии или наплавки дополнительного металла. Прорезание обычно происходит при использовании для определения сварочного электрода слишком большого силы тока, слишком длинной дуги.

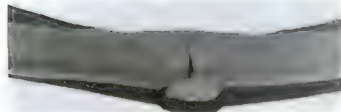


Рис. 20.7 Прорезание при сварке. Сварочный электрод, при котором произошел прорез, см. также рис. 20.5, а. См. также рис. 20.5, б. См. также рис. 20.5, в. Воспроизведено с разрешения Helmut Thielsch, *Defects and Failures in Pressure Vessels and Pipelines* (Дефекты и разрушения в емкостях и трубопроводах высокого давления), New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

Неполное проплавление или непровар соединения

Идентификация непровара. Термин неполное проплавление соединения как подразумевает само наименование, относится к недостатку проплавления сварного шва через тот тип соединения (Рис. 20.6). Он обычно применяется к начальному проходу и к шлиту к проходу, который выполняется с одной или обеих сторон сварного соединения. В соединениях с двойным сварным швом дефект может оказаться внутри стенки (Рис. 20.7).

Недостаточное проплавление соединения — один из самых серьезных дефектов сварных швов. Оно вызывает повреждения и в емкостях высокого давления и в трубах. С ним связаны разрушения в результате механической и термической усталости, а также коррозионного растрескивания под напряжением и простой коррозии.

Предупреждение недостаточного проплавления соединения. Недостаточное проплавление или непровар соединения обычно связанное с неправильной формой сварной канавки, сваркой слишком широким электродом с чрезмерно высокой скоростью сварочных операций или с недостаточной мощностью сварочного тока.

Сопутствующие проблемы. См. раздел данной главы под заголовком «Неполное расплавление».

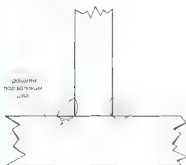


Рис. 20.8 Типичное расположение трещин в сварных швах и под швом

Растрескивание

Появление трещин при растрескивании Трещины выглядят как вытянутые отверстия на поверхности металла. Они могут быть продольными, но чаще они очень узки. Эти трещины обычно имеют острые края и могут быть очень значительно пластическим деформации, если она произошла. Трещины в металле сварного шва могут быть опасными, так как приводят к частым разрушениям при работе котла. Трещины в основном металле (у краёв шва, по шовному шву) также опасны, они могут вызвать разрушения. Трещины могут быть поперечными или продольными (Рис. 30а).

Растрескивание в сварных соединениях может происходить в самой различной форме:

- **Горячее растрескивание в наплавленном валике.** Происходит сразу же при задержании растапливаемого металла в шве.
- **Холодное растрескивание в наплавленном валике.** Происходит после того, как сварной шов остыл. Трещины могут появиться через несколько дней после завершения сварочной процедуры.
- **Горячее растрескивание основного металла.** Происходит при затвердевании расплавленного металла в шве.
- **Холодное растрескивание основного металла.** Происходит после того, как сварной шов остыл.

Предотвращение растрескивания Вальцовые трещины являются результатом неравномерного режима сварки, несоответствующей подготовки свариваемого соединения, применения непригодных электродов, неправильного предварительного подогрева и слишком высокой скорости охлаждения.

Если трещины образуются в металле шва, предотвратить их могут следующие меры:

1. Снижение скорости сварки.
2. Превентивный прогрев участка сварки, особенно при большой толщине сварного сечения.
3. Применение электродов с низким содержанием водорода.
4. Применение сухих электродов.
5. Правильная последовательность проходов сварки с учетом заданных напряжений.
6. Использование условий, которые вызывают быстрое охлаждение.

Если трещины образуются в основном металле, предотвратить их могут следующие меры:

Предварительный прогрев участка сварки, особенно при большой толщине сварного сечения.

2. Тщательное регулирование подвода тепла.
3. Применение электродов требуемых размеров.
4. Применение сухих электродов.

Меры предотвращения Основательное знание о степени серьезности дефектов сварных соединений и их влияния на надежность конструкции требует заключения опытного инспектора по сварке.

Графитизация

Наиболее вероятные места графитизации Графитизация может наблюдаться в легированной стали и стать с содержанием $\leq 5\%$ кобальта. Эти стали применяют в секциях палочерешетке и промежуточных жаропрочных элементах аклах при низком содержании. Повреждения более часты в паровых трубах, чем в котельных трубах.

Общие сведения Термин графитизация относится к саморазрушающему термическому разложению карбидов железа, происходящего в состоянии стабильности при удержании графитизации железа. Это явление связано со временем и температурой. Оно происходит в температурном интервале от 200 до 2600 °F (427-649 °C). Время неопределенно, потому что оно зависит от графитизации, уменьшающейся с увеличением температуры металла.

Разрушения, вызванные графитизацией в сварных соединениях, особенно связанных с обрешеченными, непрерывными графитизацией, которые имеют тенденцию высвобождать часть низкотемпературного края и на поверхности температуры в основном металле. Эти неравномерные деформации поверхности графита представляют собой плоскую, тонкую и прочную, сильно связанную с металлом, которая распространяется градиент. Это может вызвать разрушение в сварных соединениях и стать с содержанием до 0,5% марганца. Разрушения, вызванные графитизацией, наносят серьезный ущерб.

Важнейшие условия стабильности против графитизации Факторы, способствующие возникновению разрушения, связанных с графитизацией, включают применение неадекватного количества сварки для данного материала и влияние на сварные соединения температуры и времени (426-649 °C) в течение длительного времени.

Чувствительность материала может быть еще проанализирована, сравнивая стабильность с содержанием до 0,5% марганца, который был исследован в ходе исследования с помощью алюминия, вылитым в конических пружинах 0,5 фунта (0,226 кг).

Идентификация графитизации Разрушения, связанные с графитизацией, могут возникнуть в сварных соединениях, термически нагруженных сталях, которые являются легированными, подвергавшимися длительному времени, даже при температуре от 400 до 470 °C (427-649 °C). Разрушения происходят в основном металле после воздействия на него высокой температуры на расстоянии около 10 дюймов (6 см) от места сварного шва. Нерушимыми методами идентификация графитизации не существует.

Предупреждение графитизации Избегать нежелательных сварочных металлов температур, при которых происходит графитизация, особенно в местах, где при удержании невозможно графитизации в конкретном

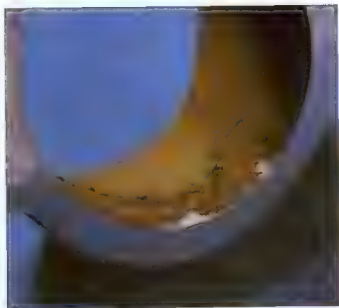


Рис 20.11 Внутренняя поверхность трубы из углеродистой стали, подвергнутой воздействию коррозии в агрессивной среде. Видны характерные признаки коррозии.

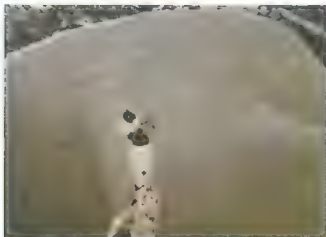


Рис. 20.12 Трещина в сварном шве в месте повреждения трубы в результате усталостного роста

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 20.3

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположения образца:	Труба в зоне циклонных горелок
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	22
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1500 фунт/кв. дюйм (10,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр: 1,5 дюйма (76 мм)

Важные изгибы и трещины в трубе показаны на Рис. 20.13, полученной при рентгеновском разрушении от давления в зонах вокруг циклонных горелок. Труба была повреждена из-за коррозии и трещин в результате усталости.

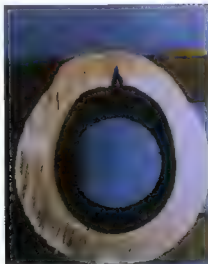


Рис. 20.13 Сечение стенки трубы, возмывающее на вырезную трещину, которая осталась после ремонта. Вызов ее происходит из сварки

Ремонт — врезанием участка — проводится путем приваривания накладки. На рисунке можно видеть, что сварочная зона не охватывает всю толщину стенки трубы, а только ее края — среднюю часть — и краями, которая возникла в результате несплошного перегрева. Также показаны две точки, как участки концентрированной нагрузки. Поэтому из совместимых материалов были выбраны материалы с высокой прочностью и температурой, чтобы трещина сформировалась в результате перегрева (См. Главу 2 «Детали и перегрев»). Разрушение и ремонт трещины с помощью сварки трубы оказалось неизбежным.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 20.4

Промышленность	Уг танояка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Экранная стенка
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы.	9
Программа водообработки	Координированная фторфатная
Давление в барабане	900 фунт кв. дюйм 6.2 МПа
Характеристики труб	Наружный диаметр 2 дюйма 51 мм
Топливо:	Каменный уголь

На Рис. 20.14 показан большой разрыв, который произошел в экранной стенке барабана, подвергнутого перегрузке со стороны рабы. Микрофотографии показывают, что в месте разрыва температура оказалась выше, чем в остальной части барабана. Разрыв произошел по этой причине. Близость графитовых узлов друг к другу и расположенные на поверхности осколки, образовавшиеся в результате разрыва, привели к тому, что при разрыве не только не распространился по всей длине барабана, но и оставшихся участков, расположенных вблизи отрыва, трубы в течение 9 часов, в течение которых температура была выше, чем в остальной части барабана, достигла 454°C.

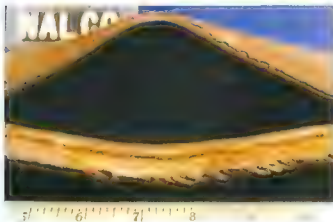


Рис. 20.14 Большой разрыв экранной стенки барабана, подвергнутого перегрузке со стороны рабы. Микрофотографии показывают, что в месте разрыва температура оказалась выше, чем в остальной части барабана. Разрыв произошел по этой причине. Близость графитовых узлов друг к другу и расположенные на поверхности осколки, образовавшиеся в результате разрыва, привели к тому, что при разрыве не только не распространился по всей длине барабана, но и оставшихся участков, расположенных вблизи отрыва, трубы в течение 9 часов, в течение которых температура была выше, чем в остальной части барабана, достигла 454°C.

Недостаточно высокое качество материалов

Места преимущественных повреждений

Недостатки материалов, рассматриваемые в данной главе, стали результатом неграмотного применения не легированных сталей там, где рекомендованы легированные стали. Основными зонами в котельной системе, страдающими от указанных причин, становятся зоны с охлаждаемым паром оборудованием, и в первую очередь трубы пароперегревателей и промежуточных пароперегревателей.

Общие сведения

За исключением, вероятно, чугуна, наиболее часто используемым в промышленности металлом остаются не легированные обыкновенные углеродистые стали. Легированные стали используют не так широко из-за их высокой стоимости. В большинстве промышленных котлов и энергетических котлов общего назначения используют трубы для котловой воды и смеси воды и пара, изготовленные из обыкновенной углеродистой стали. Низколегированные стали, содержащие небольшие количества хрома и молибдена, обычно предназначаются для изготовления труб, несущих пар, например труб пароперегревателей и промежуточных пароперегревателей, из-за высоких температур, при которых эти трубы работают. Для замедления термического разрушения, которое происходит при длительных температурах, в не легированную сталь добавляют хром и молибден. Хром обычно добавляют в количествах от 0,25 до 2,25% для замедления высокотемпературного окисления металла и повышения сопротивления ползучести. Молибден добавляют в количествах от 0,25 до 1%, также для увеличения сопротивления металла ползучести.

Важнейшие условия, в которых проявляются недостатки материалов

Основные условия для проявления недостатков материалов это температура образования оксидной пленки и чувствительность к ползучести. Температуры образования оксидной пленки зависят от температуры, при которой начинается термическое окисление металлов с высокой скоростью (Рис. 21.1). В Таблице 2 перечислены стали, часто используемые в котельных трубах, и их соответствующие температуры окислинобразования.

От окисления в стали легированных добавок зависит также их сопротивление ползучести. Добавки хрома и молибдена повышают сопротивление ползучести.

Недостатки материала проявляются, когда их используют в условиях, в которых превышаются возможности материала сохранять термическую стабильность. Обычно это относится к применению котельной углеродистой стали в высокотемпературных средах, где перегреватели и промежуточные пароперегреватели, где нормальные рабочие температуры требуют применения никель-хромовых сталей.

Идентификация непригодности материала

Местами, где проявляются недостатки материалов, являются трубы пароперегревателя и промежуточного перегревателя, в которых может произойти интенсивное окисление из-за образования разрушительных трещин на краях, разрушение при наплавке и т.д. И никелированные стали могут не выдерживать в этих условиях, когда перегревается вода, если она имеет очень высокие температуры. Это же относится и к углеродистой стали, менее стойкой к

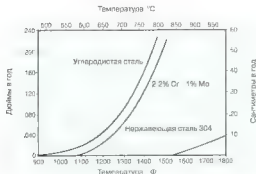


Рис. 21.1 Приблизительные скорости окисления (окислинобразования) в котельных трубах при различных температурах и времени.

да вному ввиду разрушений в сосудах, типичных для пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя. Изучение физических характеристик материалов, применяемых для изготовления секций пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя, поможет правильно выбрать сталь требуемого типа.

На месте трудно определить состав материала. Секция трубом должна быть подвергнута анализу на определение состава стали.

Предупреждение выбора неподходящего материала

Основная ответственность за правильное применение материалов лежит на изготовителе котла, его конструкторе и закупщике котла. При этом необходимо тщательно выполнять следующие процедуры контроля качества, начиная с проектирования оборудования и кончая его монтажом.

Меры предосторожности

Разрушения под влиянием термической деструкции (неравномерное расширение), разрушение при давлении, труб пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя могут происходить и в правильно выбранных типах сталей, предназначенных для монтажа высоконапряженных стальных труб, из-за ошибок применения, обычно, утечки горячей воды. Следовательно, появление разрушений при термической деструкции не может служить доказательством неадекватного выбора материала. Если разрушения данного типа происходят в эксплуатируемых по правилам секциях пароперегревателя и промежуточного пароперегревателя, скорее всего это происходит в результате ошибочного выбора материала.

Сопутствующие проблемы

См. также главу 2 («Длительный перегрев»)

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 21.1

Промышленность:	Целлюлозно-бумажная
Местоположение образца:	Вторичный пароперегреватель, первый проход
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	1,5
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	1400 фунт кв. дюйм (9,7 МПа)
Характеристики труб:	наружный диаметр 2 7/8 дюйма (70 мм) углеродистая сталь
Топливо:	Древесная кора

Труба, показанная на Рис. 21.1, разрушилась во время эксплуатации котла, работающего на древесной коре. В течение предыдущих годов в данной секции пароперегревателя происходили различные коррозионные повреждения. Котел работает непрерывно на ископаемом топливе, но в настоящее время используется для обслуживания.



Рис. 21.2 Часть разрыва с толстыми краями в трубе пароперегревателя

Края разрыва имеют многочисленные шероховатости. Наружная поверхность частично покрыта налетом, на внутреннюю кривую сплюснутости наблюдается термической деградации металла. Внутренняя поверхность гладкая и не содержит отложений и продуктов коррозии.

Микроструктурное обследование металла показало присутствие по всей стенке трубы разлития феррита, затененных карбидов железа. На всех поверхностях обнаружены следы микротрещин до 0,5 мм, а также густые слои оксидов железа (результат термической деградации металла).

Труба после длительного времени эксплуатации в эксплуатации при температуре 548–566 °C оказалась обломана металлом, разбитая на 100–150 фибрилл, 548–566 °C для микроструктурного исследования. Прочностные свойства неясны, некоторые признаки через год после аварии могут показывать возможность разрушения металла вследствие длительного воздействия на него в диапазоне пароперегрева. Однако разрушения не произошло, так как бы труба была отлита из стали, использованной в стандартной 213 G2.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 21.2

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Промежуточный пароперегреватель
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	20
Программа водообработки:	Координированная фосфатная
Давление в барабане:	2875 фунт кв. дюйм (19,8 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 2 25 дюйма (57 мм)
Топливо:	Каменный уголь

Рифленые охватывающие крайние окантовки на Рис. 21.3 являются примером многих типовых разрушений, которые время от времени приходится устранять с помощью сварки. Кроме того, с течением времени произошло разрушение охватывающих действующих концов на трубок.

Наружная поверхность покрыта тонким слоем оксидов железа, термически деградированная металл — озеро которого имеет окислительное поведение. Внутренняя поверхность также покрыта тонким слоем оксидов железа.

Макроструктурные исследования металла охватывающей трубки в месте трубы массы разрушенных углеродистых крошечных выработок катодной коррозии. На всех повреждениях были обнаружены окислительные продукты коррозии.

Разрушение — результат приемлемого режима работы в условиях агрессивной окружающей среды — ермичности и металла. Точное извлечение артефакта — SA 7.1 G2, которая была разрушена из-за разрушения рифленой структуры — охватывающей оксидному окислению — разрушено.

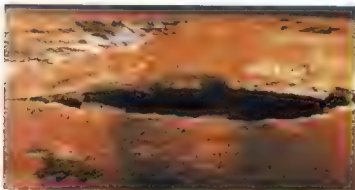


Рис. 21.3 Рифленые охватывающие крайние окантовки на Рис. 21.3 являются примером многих типовых разрушений, которые время от времени приходится устранять с помощью сварки. Кроме того, с течением времени произошло разрушение охватывающих действующих концов на трубок.

Глава 22

Коррозия типа графитизации

Места преимущественной коррозии

Коррозии данного вида подвергаются накосы питательной воды, грубо-провода водоснабжения, клапаны и другие компоненты, изготовленные из чугуна (содержащего графит). Поскольку чугун в основном используют в зонах до котла, коррозионное разрушение обнаруживают главным образом в оборудовании претаритной водообработки и водоподачи.

Общие сведения

Коррозия типа графитизации (графитизация) возможна только в тех конструкциях, которые выполнены из чугуна, содержащего частицы графита. Чувствительность к коррозии проявляют угловатый, ковкий и серый чугун. Угловатый и ковкий чугун иногда считают невосприимчивым к графитизации, однако они все же часто корродируют. Серый чугун применяют более широко, и он подвергается более четко выраженной и четко опознаваемой коррозии, чем другие виды чугуна.

Когда пленка агрессивная вода соприкасается с поверхностью металла, между частицами графита, включенными в отливку, и окружающей массой металла происходит гальваническое взаимодействие (электрохимический эффект). Графит по отношению к соседнему металлу действует как катод. Часть металла подвергается коррозии. Иногда отливка превращается в ржавую массу, содержащую частицы графита. Коррозия ускоряется, если вода умеренно кислая, имеет высокую электропроводность, мягкая и/или содержит высокие концентрации агрессивных анионов, в частности сульфата.

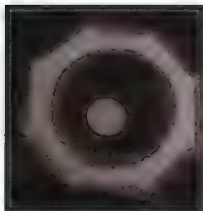


Рис. 22.1 Крестовик электродной поверхности электродной графитовой. Матрица электрода — серый цвет. Следует отметить темные зоны на внутренней и наружной поверхности, так как был проведен в реакциях и графит.



Рис. 22.2 Матрица электродной поверхности электродной графитовой. Темная область — это реакционная область, так как была проведена в реакциях и графит.

Важнейшие условия для графитизации

Графитизация обычно развивается местами, а не по всей поверхности существующих трещинах и могут потребоваться месяцы и годы. С уменьшением pH коррозия ускоряется. Графитизация особенно актуальное условие, особенно в случаях, когда вода содержит большое количество сульфатов. Значительная графитизация происходит в герметичных системах. Если условия условия изобавлены от кислорода, размер в масштабах продуктов коррозии могут смещаться, что также ускоряет износ.

Идентификация коррозии типа графитизации

Чугун превращается в мягкую смесь оксидов металла и графита (Рис. 22.4 и 22.5). Частицы продуктов коррозии так же, как и руды, имеют красноватые следы на поверхности. Кислотная коррозия в этом случае не образует графитизации (Рис. 22.3). Разрушение не происходит достаточно равномерно, и все поверхности корродируют практически на одинаковую глубину (Рис. 22.4 и 22.5). Если присутствуют локальные отложения солей, из которых содержат сульфат и хлорид или другие кислотные соединения, могут вызывать коррозию, ограниченную отложениями карманам. Если коррозия очень сильная и не удаляется длительное время, продукты коррозии превращаются в порошок. При этом часто сохраняется форма поверхности и ее геометрия. Разрушение обычно заметно, но поверхность не будет деформирована или продавлена.

Коррозионные участки можно промывать ручным или механическим инструментом. Можно сделать углубления в мягких черных продуктах коррозии. Концом ножа можно определить глубину проникновения ржавчины.



Рис. 22.3. Промывка поверхности с помощью ручного инструмента. В центре видна область, где графит, смешанный с ржавчиной.



Рис. 22.4 Дроссельная заслонка, подвергшаяся графитизации. Центры первоначальной концентрации коррозионных изменений в результате полностью превратились в крупный продукт коррозии с окислами

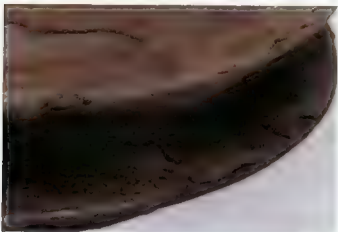


Рис. 22.5 Очень сильная графитизация крыльчаток насоса 2,75 м³/ч в среде серого чугуна. Местами продукт коррозии растрескился и отслоился, обнажив поверхность серого чугуна. Местами продукт коррозии превратился в крупный продукт коррозии с окислами

Предупреждение графитизации

Коррозионное разрушение можно уменьшить путем замены чугуна сталью, применением химически обработанных или применения режима работы. Замена чугуна сталью полностью исключает графитизацию, если вместе чугуна не было никаких элементов, содержащих графит. Выбор также зависит от вида опреснения, требований, специфичных для каждого конкретного случая.

Увеличение pH воды до 10 (графитизация не происходит) уменьшает коррозию, особенно если в воде присутствуют в значительных количествах коррозионных таких агентов, как хлориды и сульфиды. Разумное соотношение химических веществ-ингибиторов поможет уменьшить коррозию в идеальном случае. Когда расход воды невелик (например, во время длительных остановок), материалы, состоящие из чугуна, подвержены графитизации. Скорее избегать жестких условий, дисбалансов, а графитизации.

Меры предосторожности

Графитизации может подвергаться только серый чугун, содержащий графит. Незначительных различий в размерах частиц графита и их распределении, а также трубных различий в составе сплава, коррозия бывает особенно сильной у серого чугуна.

Трубы и другие компоненты оборудования могут корродировать очень сильно, особенно если они изготовлены из чугуна. Избыток коррозии опущен тактовой механической прочностью, недостаточен износ. Если коррозионные компоненты находятся под напряжением, разрушение может оказаться катастрофическим.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 22.1

Промышленность:	Технология производства пищевых продуктов
Местоположение образца:	Насос питьевой воды
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	5
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	500 фунт/кв. дюйм (4.19 МПа)
Характеристики труб:	Диаметр 8 дюймов (203 мм) 5-лопастный серый чугун
Топливо:	Природный газ

Несколько кристаллов, показанных на рисунке, появились во время планового обслуживания технического обслуживания. Вся поверхность кристалликов была превращена в мелкие явные продукты коррозии. В некоторых местах из первоначального материала были вытеснены продукты коррозии. Кристаллы были полностью разрушены в результате коррозии. Лопастные были в трех местах, так как продукты коррозии смешались с абразивом. Поверхность не должна была быть такой (Рис. 22.5).

Коррозия в результате дисбаланса воды, дисбаланса, перекиси водорода, составляла свыше 50% всего периода эксплуатации.

Разрушение сплавов

Места наиболее вероятных разрушений

Разрушение сплавов в отличие от серого чугуна (см. главу 22 «Коррозия типа графитизация») обычно представляет собой коррозионный процесс, содержащий меть. Коррозия таким образом происходит в системах питательной воды и в зонах после котла. Коррозии могут подвергаться также детали питательной воды высокого давления, бронзовые крышки лопастей насосов, донные фильтры трубной очистки пара из медно-металла и париферные устройства в котле, например, чугунные фланцы и втулки манометров. Кроме того, коррозии данного вида часто подвергаются конденсаторы и теплообменники.

Общие сведения

Разрушение сплавов представляет собой процесс коррозии, которому подвергается преимущественно один или несколько компонентов сплава. Коррозия происходит в тех случаях, когда металл имеет другую структуру, чем первоначальный сплав. Однако макроскопические размеры коррозионных процессов обычно сохраняются неизменными. Процесс также часто называют селективной выветриванием, для обозначения коррозии. Очевидно, что разрушение может происходить только в тех сплавах, которые состоят из двух или нескольких элементов. Особенно чувствительны к разрушению медно-никелевые сплавы, из которых удаляется никель и остаются (или которых выветриваются) цинк и алюминий. Названия конкретных процессов происходят от названий выветриваемых элементов. Например, для латуны из которой удаляется цинк, процесс называется обезцинкованием. В случаях, когда из медно-никелевых сплавов удаляется никель, разрушение сплава называется обезникелованием.

Существуют две различные формы обезцинкования: «глубокая» или «слоистая». Небольшие порывчатые зоны потерь металла возникают на стенках труб, образуя «прокты», которые под действием высокого давления мо-

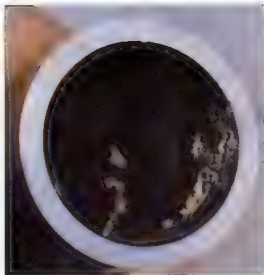


Рис. 23.1 «Пробой» трубы, возникший под воздействием коррозии в результате длительного использования

гут быть вмонтированы трубы (Рис. 23.1). Более обширный случай коррозии так называемое слоистое оспешивание (Рис. 23.2). Мелкие и крупные слои так называемые «слои» коррозии, чем «пробой» трубы. Однако разрушение медно-никелевых сплавов особенно менее опасно по сравнению с коррозией в стали. Возможно, основные механизмы «пробоя» трубы «оспешивание» коррозии, «слои» коррозии. Однако «пробой» коррозии может вызывать локализация коррозии со скоростями до нескольких десятков долей долей в год, в то время как при «пробое» коррозии потери оказываются более умеренными.

«Деструкция» коррозии «оспешивание» может происходить в случае тупой бронзы и некоторых факторов коррозии. Это особенно характерно для коррозии в горячей воде, особенно в виде Паровых фильтров, выполненных из металла, коррозионно-стойкого, содержащего соединения серы, при повышенных температурах (рис. 23.3).

Есть сообщения о «деструкции» коррозии «оспешивание» коррозии в воде, причем как в виде коррозии, так и в виде коррозии.

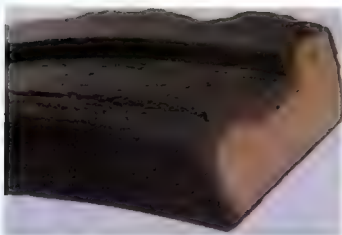


Рис. 23.2 «Стойкое» обесцвечивание деталей палки из латуни

Важнейшие условия, способствующие разрушению сплавов

Ускорение окислительных процессов разрушения сплавов, содержащих медь, вызывается отложениями мягкой воды, особенно с содержанием диоксида углерода, теплопередачей, влажными условиями с низкими или высоким pH и влажностью с высоким содержанием хлоридов. Диоксида углерода в небольших количествах, а также сурьмы или фосфора в малых количествах, а также существенно уменьшает вероятность обесцвечивания. Однако в экстремальных условиях коррозия все же может произойти.

Идентификация разрушения сплава

В медных сплавах медь очень трудно подвергается активному воздействию. Скорее растворяются другие элементы, оставшаяся медь может сравниться с мягкой пористой массой меди. Коррозионный металл сравнительно хрупкий и может быть легко разрушен при ударе или изгибе. Часто поверхности имеют трещины, но сохраняют первоначальные размеры. Участки подвергшиеся коррозии, как правило, имеют цвет от темнокрасного до орыжевого ржавый цвет элементарной меди (Рис. 23.1 и 23.2).

Трубки из латуни в воде высокого давления, изготовленные из медно-никелевых сплавов, могут подвергаться разрушению в уникальной форме. В время простоев в водотрубах с высоким давлением может возникнуть осадок, который приводит к значительному окислению. В дальнейшем нормальная

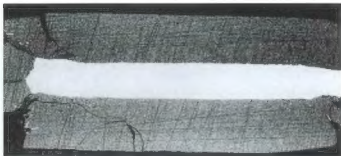


Рис. 23.3 Поперечный разрез парового фильтра, выполненного из молибдена-металла. Темная зона состоит из оксидов, сульфидов и элементарной серы (увеличение в 15 раз).



Рис. 23.4 Отслаивание на поверхности трубы нагревателя питательной воды высокого давления из медно-никелевого сплава.

работа системы будет способствовать восстановлению поверхностных оксидов до элементарной меди. Иногда слои оксида и/или восстановленного металла могут отслаиваться с поверхности, придавая трубам необычный цвет «солнечного загара» (Рис. 23.4). Данная форма отслаивания особенно вероятна для медно-никелевых сплавов с соотношением компонентов 70:30. Сплавы с соотношением 80:20 чувствительны к нему в меньшей степени. Для медно-никелевых сплавов с соотношением 90:10 такой износ редок.

Предупреждение разрушения сплавов

Поверхности должны оставаться свободными от отложений. В целом простои должны быть максимально короткими. Контакт с воздухом следует исключить путем создания паровых или азотных подушек. Необходим контроль качества воды и пара, чтобы в них были сведены к минимуму концентрации соединений хлора и серы. Может оказаться необходимой замена сплавов на совершенно другие. В тех случаях, когда это диктуют условия работы, следует применять преимущественно сорта адмиралтейской латуни с добавками ингибиторов коррозии.

Сопутствующие проблемы

См. главу 22 «Коррозия типа графитизацию».

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 23.1

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Сетчатый паровой фильтр турбины
Ориентация образца:	Вертикальная
Срок службы, годы:	16
Программа водообработки:	Фосфатная
Давление в барабане:	1500 фунт/кв. дюйм (10,3 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 0,15 дюйма (4 мм), проволока из монель-металла
Топливо:	Каменный уголь

Было обнаружено, что сетчатый паровой фильтр из монель-металла на входе в турбину содержит много разрушенных компонентов. Металл превратился в оксид, сульфид и элементарную медь (Рис. 23.3). Масса разрушенного металла состояла из множества частиц элементарной меди, включенных в оксидно-сульфидную матрицу. Трещины в разрушенном металле были покрыты элементарной медью.

Разрушение было вызвано уносом серосодержащих соединений паром. В системе и прежде имели место случаи низкой чистоты пара и уноса котловой воды в пароперегреватель.

ПРИМЕР ИЗ ПРАКТИКИ 23.2

Промышленность:	Установка для производства энергосредств
Местоположение образца:	Первая входная секция нагревателя питательной воды высокого давления
Ориентация образца:	Горизонтальная
Срок службы, годы:	7
Программа водообработки:	Все летучие
Давление в барабане:	400 фунт/кв. дюйм (2,6 МПа)
Характеристики труб:	Наружный диаметр 5/8 дюйма (16 мм), медно-никелевый сплав с соотношением 70:30

Трубы нагревателя питательной воды были утончены в результате циклического окисления и восстановления оксидов в процессе работы (Рис. 23.4). Толщина стенки была уменьшена на 15%.

В течение предыдущих двух лет происходили частые остановки котла, при которых воздух поступал под оболочку нагревателя, что приводило к окислению поверхности. Во время работы происходило превращение оксидов в элементарную медь.

**Практическое руководство по
определению и устранению наиболее
часто встречающихся причин
повреждения котлов в наше время!**

Практическое руководство компании НАЛКО по анализу повреждения котлов

Роберт Д. Порт и Харви М. Херроу

Если в ваши обязанности входит проектирование, профилактика, эксплуатация или ремонт котлов и котловых систем, то вы не сможете обойтись без этого наиболее полного практического руководства по определению и устранению причин повреждений.

Настоящее авторизованное издание содержит данные многолетнего опыта, накопленного профессионалами, и иллюстрации с описаниями конкретных случаев и наиболее типичных проблем, встречающихся в котловых системах, решение которых описано достаточно подробно.

Каждый тип повреждений классифицируется согласно его местонахождения в системе, общему описанию, важнейшим характеристикам, идентификации, методу устранения, мерам безопасности и сопутствующим проблемам для того, чтобы обеспечить вам незамедлительный доступ к информации о помощи по данному вопросу. Целые главы посвящены описанию таких проблем, как длительное и краткосрочное перегревание, отложения, щелочная коррозия, хелатная коррозия, кислородная коррозия, коррозия при низком значении pH, коррозия под действием мазутной золы и угольной золы.

«Руководство.....» позволяет достаточно легко определить те условия, при которых возникают проблемы в системе - от неправильно эксплуатируемых котлов-утилизаторов до колебания давления в них - и устранить эти проблемы до остановки на капитальный ремонт. Эта книга, которая содержит более 170 иллюстраций, поможет вам в приобретении «опыта», необходимого для более экономичной, надежной и безопасной эксплуатации котлов.